

PERAMALAN JUMLAH KANDUNGAN ELEKTRON MENGGUNAKAN
KAEDAH SUAPAN KE HADAPAN RANGKAIAN NEURAL DI
SEMENANJUNG MALAYSIA

ROHAIDA BINTI MAT AKIR



PTTA UTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2018

PENGHARGAAN

Bismillahirrahmanirahim...

Alhamdulillah, dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah S.W.T kerana dengan rahmat dan izin-Nya saya telah berjaya menyiapkan penyelidikan ini dengan sebaik mungkin. Semoga hasil penyelidikan ini dapat memberi manfaat kepada manusia sejagat.

Pertama sekali saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia yang amat saya hormati Prof. Ir. Dr. Mardina Abdullah, Dr. Kalaivani Chellappan dan Dr Alina Marie Hasbi diatas segala tunjuk ajar, idea, bimbingan, kerjasama dan motivasi yang dicurahkan sepanjang tempoh penyelidikan ini dijalankan.

Kedua, terima kasih diucapkan kepada pihak majikan Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, (UTHM) dan penaja Kementerian Pengajian Tinggi yang telah memberi biasiswa di bawah Skim Latihan Akademik IPTA (SLAI) bagi membiayai pengajian ini. Kajian ini turut dijalankan dengan sokongan kewangan dari Agensi Angkasa Negara, SA1213001. Ribuan terima kasih kepada Pusat Kejuruteraan Elektronik dan Komunikasi Terkehadapan yang dahulunya dikenali sebagai Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina dan Pusat Sains Angkasa, Universiti Kebangsaan Malaysia kerana menyediakan kemudahan bagi menjalankan penyelidikan ini.

Akhir sekali, ribuan terima kasih yang tidak terhingga kepada suami, Noraide Md. Yusop yang banyak memberi motivasi dan suntikan semangat sehingga ke saat akhir pengajian, kedua ibubapa saya dihormati dan disanjung, keluarga mertua dan seluruh ahli keluarga lain yang senantiasa memberi sokongan dan dorongan moral tanpa berputus asa. Terima kasih diucapkan kepada rakan-rakan seperjuangan dan semua pihak yang pernah terlibat secara langsung ataupun secara tidak langsung dalam menjayakan penyelidikan ini.

Semoga Allah S.W.T memberkati kalian. Amin Ya Rabbal'Alamin.

ABSTRAK

Jumlah Kandungan Elektron (*Total Electron Content*, TEC) adalah salah satu kuantiti fizikal yang diperolehi daripada data sistem penentuan kedudukan global (*Global Positioning System*, GPS), dan memberi petunjuk kepada kepelbagaian ionosfera. Variasi TEC memberi kesan yang besar ke atas komunikasi radio, sistem navigasi, pengukuran GPS dan cuaca di angkasa. Dalam usaha untuk memahami kesan-kesan ini, model ramalan perlu untuk dibangunkan. Beberapa model ionosfera telah dibangunkan sebelum ini untuk meramalkan kepelbagaian ionosfera di lokasi yang berbeza di dunia. Walau bagaimanapun, disebabkan oleh kekurangan data di kawasan Khatulistiwa, model tersebut tidak dapat memberi keputusan ramalan yang tepat mengenai kepelbagaian ionosfera di Malaysia. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk mengkaji kebarangkalian bagi pemodelan nilai TEC yang diperolehi daripada penerima sistem pemantauan sintilasi ionosfera GPS dan monitor TEC (*GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor*, GISTM) menggunakan kaedah suapan ke hadapan rangkaian neural (*Neural Network*, NN). Ia juga bertujuan untuk mengkaji kaedah ramalan TEC untuk perambatan gelombang radio semasa musim ekuinoks dan solstis. Dua lokasi GISTM di Universiti Kebangsaan Malaysia $2^{\circ}55' \text{ N}$, $101^{\circ}46' \text{ E}$ dan Observatori Negara Langkawi, Kedah $6^{\circ}19' \text{ N}$, $99^{\circ}5' \text{ E}$, dikenalpasti dan digunakan dalam pembangunan ruang masukan dan rekabentuk untuk pemodelan NN. Data GPS TEC dari tahun 2011 hingga 2015 telah dipilih untuk membangunkan model ramalan TEC di Semenanjung Malaysia iaitu ketika kitaran suria menaik pada kitar suria ke-24. Nilai TEC dan faktor-faktor yang mempengaruhi kepelbagaian sebagai pembolehubah bersandar dan tidak bersandar, keupayaan NN untuk pemodelan TEC dikenalpasti. Nilai TEC telah dimodelkan sebagai fungsi variasi bermusim (bilangan hari), variasi harian (jam) dan aktiviti Matahari (bilangan titik hitam pada permukaan Matahari). Data TEC telah diramalkan dalam variasi bermusim, harian dan jam. Analisis telah dibuat dengan membandingkan nilai TEC daripada ramalan rangkaian neural dengan TEC sebenar dan nilai TEC dari versi terkini model Rujukan Antarabangsa Ionosfera (*International Reference Ionosphere*, IRI). Nilai maksimum dalam variasi bermusim adalah pada musim Jun solstis iaitu 88% dan minimum pada musim September ekuinoks sebanyak 83%. Keputusan menunjukkan bahawa, model NN boleh meramalkan nilai TEC dengan ketepatan maksimum 86% berbanding dengan IRI-2012 model sebanyak 58% semasa keadaan ekuinoks dan solstis. Kesimpulannya, model NN lebih berpotensi dan berkesan untuk membuat ramalan TEC di rantau Malaysia berbanding dengan model IRI-2012. Hasil ramalan ini berguna kepada operator radio untuk mengetahui keadaan ionosfera terlebih dahulu, terutamanya semasa keadaan ionosfera terganggu. Hasil dari kajian ini menawarkan satu model baru untuk peramalan TEC di Semenanjung Malaysia.

FORECASTING TOTAL ELECTRON CONTENT USING FEED FORWARD NEURAL NETWORK OVER PENINSULAR MALAYSIA

ABSTRACT

Total Electron Content (TEC) is one of the physical quantities that can be derived from global positioning system (GPS) data and provides an indication of ionospheric variability. TEC variations have significant effects on radio communications, applications involving navigational systems, GPS surveying and space weather. In order to understand these effects, there is a need to develop forecasting techniques. Several ionospheric models have been developed to predict the ionospheric variability at different locations of the world. However, due to the scarcity of data in the equatorial region, the models do not give accurate forecasting of the ionospheric variability over Malaysia region. Therefore, this study aims to investigate the possibilities for the modeling of TEC values derived from the GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor (GISTM) receiver using feed forward neural network (NN). It also aims to investigate the TEC forecasting method for radio wave propagation value during both equinox and solstices periods. Two GISTM locations at Universiti Kebangsaan Malaysia, $2^{\circ}55' \text{ N}$, $101^{\circ}46' \text{ E}$ and National Observatory Langkawi, Kedah $6^{\circ}19' \text{ N}$, $99^{\circ}5' \text{ E}$ are identified and used in the development of an input space and NN design for the model. GPS TEC data measurement from 2011 to 2015 was selected to perform regional TEC modelling over Peninsular Malaysia, which is ascending solar cycle on solar cycle 24. TEC values and the factors that influence its variability as dependent and independent variable respectively, the capabilities of NN for TEC modelling were investigated. For this purpose, TEC was modelled as a function of seasonal variation (day number), diurnal variation (hour) and solar activity (sunspot number). The TEC data was forecasted in the seasonal, diurnal and hourly variations. An analysis was made by comparing the TEC value from the neural network prediction with real TEC and the TEC from the recent version of the International Reference Ionosphere model (IRI-2012). The maximum value in the seasonal variation was observed in June solstices with 88% and the minimum in the September equinox, 83%. Results showed that the NN model can predict the TEC with a maximum accuracy of 86% compared with the IRI-2012 model by 58% during equinoxes and solstices periods. In conclusion, NN model has a potentially effective method with a higher performance of TEC prediction in the Malaysian region compared to the IRI-2012 model. The forecasted value is useful to radio operators in order to know the condition of the ionosphere in advance, especially during disturbed ionospheric condition. The outcome of this research offer a new model as a Peninsular Malaysia TEC forecasting.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI ILUSTRASI	ix
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI SIMBOL	xiv
SENARAI SINGKATAN	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Latar Belakang Kajian	1
1.3 Permasalahan Kajian	3
1.4 Objektif Kajian	5
1.5 Skop Kajian	5
1.6 Organisasi Tesis	6
 BAB II TINJAUAN MENGENAI IONOSFERA	
2.1 Pengenalan	8
2.2 Pembentukan Ionosfera	8
2.3 Struktur Lapisan Ionosfera	10
2.4 Variasi Ionosfera Berdasarkan Perbezaan Latitud	13
2.5 Kepelbagaian Perubahan Ionosfera	14
2.5.1 Perubahan Harian	14
2.5.2 Perubahan Musim	15
2.5.3 Perubahan Kitaran Suria	17
2.5.4 Kesan Aktiviti Geomagnetik	18

2.6	Kesan Ionosfera Terhadap GPS	19
2.6.1	Jumlah Kandungan Elektron	19
2.6.2	Model Peramalan TEC Yang Terdahulu	20
2.7	Rangkaian Neural Buatan	23
2.7.1	Senibina Rangkaian Neural Buatan	25
2.8	Rangkaian Neural dalam Permodelan Ionosfera	27
2.9	Rumusan	34
 BAB III KAEDAH KAJIAN		
3.1	Pengenalan	35
3.2	Sistem Penentududukan Global, GPS	35
3.2.1	Pengukuran Isyarat GPS	36
3.3	Penyediaan Data	37
3.3.1	Pemprosesan Data Mentah GISTM	38
3.3.2	Rangkaian Penerima GISTM di Malaysia	40
3.3.3	Pengiraan Nilai VTEC	42
3.4	Permodelan Rangkaian Neural Buatan	45
3.4.1	Fungsi Pengaktifan	45
3.4.2	Proses Pembelajaran	47
3.4.3	Algoritma Rambatan Ke Belakang	48
3.5	Penentuan Input Parameter	52
3.5.1	Parameter Masukan Rangkaian Neural	52
3.5.2	Penentuan Input Parameter Yang Optimum	55
3.6	Rumusan	57
 BAB IV KAEDAH PERMODELAN PERAMALAN TEC		
4.1	Pengenalan	58
4.2	Permodelan TEC	58
4.3	Keadaan Ribut Geomagnetik	66
4.4	Model Rujukan Ionosfera Antarabangsa	69
4.5	Pengesahan Model	70

4.5.1	Ralat Mutlak	70
4.5.2	Ralat Relatif	71
4.5.3	Purata Ralat Peratusan Mutlak (MAPE)	71
4.6	Rumusan	73
 BAB V PERAMALAN TEC DENGAN RANGKAIAN NEURAL		
5.1	Pengenalan	74
5.2	Peramalan Stesen UKM	74
5.2.1	Perubahan TEC Harian	75
5.2.2	Perubahan TEC Musim	81
5.3	Perbandingan Semasa Ribut Geomagnetik	86
5.3.1	Keadaan Tenang	86
5.3.2	Keadaan Terganggu	89
5.4	Peramalan Stesen LGKW	94
5.4.1	VTEC di antara Stesen UKM dan LGKW	94
5.4.2	Peramalan TEC di Stesen LGKW	95
5.5	Rumusan	103
 BAB VI KESIMPULAN DAN CADANGAN		
6.1	Kesimpulan	105
6.2	Cadangan	107
 RUJUKAN		108
 LAMPIRAN		
A	GPS	117
B	Pemprosesan Data Mentah GISTM GSV4004B	125
C	Pemprosesan Data TEC dari Model IRI-2012	128
D	Penerbitan	130

SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah		Halaman
2.1	Kehadiran lapisan ionosfera ketika waktu siang dan malam	11
2.2	Perbezaan Latitud	13
2.3	Sudut zenit bagi Matahari	15
2.4	Perubahan musim sepanjang tahun	16
2.5	Kitaran suria ke-23 dan Kitaran suria ke-24	18
2.6	TEC di sepanjang laluan isyarat daripada GPS satelit kepada GPS penerima di Bumi	20
2.7	Gambarajah (a) rangkaian neuron biologi, (b) rangkaian neural buatan	24
2.8	Permodelan asas rangkaian neural	26
2.9	Taburan stesen penerima GPS dan stesen ionosonde di Afrika Selatan	28
2.10	GPS-TEC, NN TEC dan IRI-2017 TEC sepanjang tempoh 5 tahun (2005 - 2009), pada 1230 LT untuk stesen Chumphon	30
3.1	Pemasangan peralatan GISTM	37
3.2	Carta alir bagi pemprosesan data TEC	40
3.3	Rangkaian stesen GISTM di Malaysia	41
3.4	Model lapisan tunggal ionosfera	43
3.5	(a) Sudut dongakan (darjah) dan (b) perbezaan nilai STEC dan VTEC bagi PRN 10	45
3.6	Fungsi pengaktifan (a) tansig, (b) logsig dan (c) purelin	46
3.7	Algoritma rambatan kebelakang	51
3.8	Bilangan SSN yang digunakan (a) SSN1 merujuk kepada harian SSN, (b) SSN2 merujuk kepada data purata 27 hari SSN, (c) SSN3 merujuk kepada data purata 81 hari SSN dari tahun 2011 hingga 2015	54

3.9	Nilai RMSE bagi model NN dengan 6 hingga 20 nod di lapisan tersembunyi	55
3.10	Reka bentuk rangkaian neural buatan terhadap peramalan nilai TEC	56
4.1	Pemprosesan model peramalan TEC menggunakan rangkaian neural	59
4.2	Carta alir bagi (a) proses latihan dan (b) proses peramalan TEC menggunakan rangkaian neural buatan	62
4.3	Variasi nilai (a) Kp dan (b) Dst bagi bulan Januari hingga Disember pada tahun 2015	68
5.1	Perbandingan nilai TEC di antara TEC permodelan (NN dan IRI01-corr) dan TEC rujukan (GPS-TEC) di stesen UKM semasa hari ekuinoks musim bunga dan musim luruh (a) 20 Mac, (c) 23 September dan hari solstis musim panas dan musim sejuk (b) 21 Jun, (d) 22 Disember pada tahun 2015	76
5.2	Variasi harian TEC rujukan (GPS TEC) dalam masa 24 jam dalam purata seminggu (3 hari sebelum dan selepas hari ekuinoks dan solstis) di stesen UKM pada (a) 20 Mac, (b) 21 Jun, (c) 22 September dan (d) 22 Disember bagi tahun 2015	80
5.3	Perbandingan nilai TEC di antara TEC permodelan (NN dan IRI01-corr) dan TEC rujukan (GPS-TEC) di stesen UKM semasa ekuinoks musim luruh dan musim bunga (a) Mac, (c) September dan solstis musim panas dan musim sejuk (b) Jun, (d) Disember pada tahun 2015	82
5.4	Korelasi di antara model NN dan GPS-TEC di stesen UKM pada bulan (a) Mac, (b) Jun, (c) September dan (d) Disember pada tahun 2015	85
5.5	Variasi nilai Dst, indeks Kp dan nilai TEC (GPS-TEC, NN dan IRI01-corr) pada (a) 3-5 Jun 2015 dan (b) 1-3 September 2015	87
	(a) 3 - 6 Jun 2015	87
	(b) 1 - 3 September 2015	87
5.6	Perbandingan nilai RMSE dan MAPE pada (a) 3 - 5 Jun 2015 dan (b) 1 - 3 September 2015 bagi model NN dan IRI01-corr	88
5.7	Variasi nilai (a) Dst, (b) Kp dan (c) TEC (GPS-TEC, NN dan IRI01-corr) pada 16 - 20 Mac 2015. Kawasan pada lajur berwarna kelabu menunjukkan berlakunya keadaan geomagnetik terganggu	90

5.8	Variasi nilai (a) Dst, (b) Kp dan (c) TEC (GPS-TEC, NN dan IRI01-corr) pada 21 - 25 Jun 2015. Kawasan pada lajur berwarna kelabu menunjukkan berlakunya keadaan geomagnetik terganggu	91
5.9	Perbandingan nilai RMSE dan MAPE pada (a) 16 - 20 Mac 2015 dan (b) 21 - 25 Jun 2015 bagi model NN dan IRI01-corr	93
5.10	Variasi harian TEC pada stesen UKM dan LGKW. Garisan biru dengan tanda berlian menunjukkan data TEC pada stesen LGKW dan garisan putus-putus merah dengan tanda segitiga merujuk kepada stesen UKM	94
5.11	Perbandingan nilai TEC rujukan (GPS-TEC) dan TEC permodelan (NN dan IRI01-corr) pada (a) 20 Mac, (b) 22 Jun, (c) 23 September dan (d) 29 Disember di stesen LGKW pada tahun 2015	96
5.12	Perbandingan RMSE di antara stesen UKM dan stesen LGKW pada tahun 2015 terhadap peramalan nilai TEC menggunakan model NN	98
5.13	Perbandingan TEC rujukan (GPS-TEC) dan TEC permodelan (NN dan IRI01-corr) di stesen LGKW ketika (a) matahari terbit (0600 LT), (b) tengah hari (1400 LT) dan (c) tengah malam (2200 LT) pada tahun 2015	99
5.14	Perbandingan nilai TEC di antara TEC rujukan (GPS-TEC) dan TEC permodelan (NN dan IRI01-corr) di stesen LGKW pada tahun 2015	102
A.1	Segmen GPS	117
A.2	Segmen Kawalan di permukaan Bumi	118
B.1	Command Prompt program untuk menukarkan file ASCII kepada microsoft Excel	126
B.2	Data harian bagi stesen LGKW pada (17 November 2015) yang telah ditukarkan dalam file Microsoft Excel	126
C.1	Pemprosesan Data TEC dari Model IRI-2012	129
	(a) Parameter Input	129
	(b) Parameter Output	129

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
2.1	Analogi antara rangkaian neuron biologi dan rangkaian neural buatan	25
2.2	Ringkasan berkaitan rangkaian neural dalam peramalan nilai TEC	31
3.1	Spesifikasi sistem GISTM	38
3.2	Stesen GISTM di Malaysia	41
3.3	Parameter yang digunakan dalam pengiraan nilai VTEC	42
3.4	Input parameter dalam pembangunan model NN	57
4.1	Prestasi pemalar momentum	65
4.2	Prestasi kadar pembelajaran	65
4.3	Ciri-ciri rangkaian neural yang dibangunkan untuk peramalan TEC	66
4.4	Keadaan ribut geomagnetik berdasarkan indeks Kp	67
4.5	Aras gangguan berdasarkan julat indeks Dst	67
4.6	Indeks Kp dan Dst yang digunakan dalam data latihan pada tahun 2011-2014	68
4.7	Peratusan Ralat MAPE	72
5.1	Perbandingan di antara model peramalan TEC (NN dan IRI01-corr) bagi tahun 2015 dengan RMSE, ralat mutlak dan ralat relatif terhadap perubahan harian	79
5.2	Perbandingan di antara model peramalan TEC (NN dan IRI01-corr) bagi tahun 2015 dengan RMSE, ralat mutlak dan ralat relatif terhadap perubahan musim	84
5.3	Perbandingan nilai RMSE bagi nilai TEC rujukan (GPS-TEC) dan TEC permodelan (NN dan IRI01-corr) di stesen LGKW pada tahun 2015	97

5.4	Perbandingan purata nilai TEC dan RMSE di antara TEC rujukan (GPS-TEC) dan TEC permodelan (NN dan IRI01-corr) pada tahun 2015	100
B.1	Medan data yang diekstrakkan daripada sistem GSV400B dengan singkatan nama dan unit yang digunakan	127



PTTA UTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

SENARAI SIMBOL

λ	panjang gelombang
ε	pemalar elektrik
θ	sudut dongakan
δ_k	ralat pada nod k
α	parameter pembelajaran
Φ	pengukuran fasa pembawa
c	kelajuan cahaya dalam ruang bebas $3 \times 10^8 m/s$
e	cas elektron $-1.602 \times 10^{-19} C$
ε_0	ketelusan ruang bebas, $8.854 \times 10^{-12} C^2/Nm^2$
E_{abs}	ralat mutlak
E_{rel}	ralat relatif
g	kumpulan titik hitam
h_m	ketinggian ionosfera pada lapisan tunggal
k	pemalar balai cerap
f_1, f_2	frekuensi pada isyarat L_1 dan L_2
f_p	frekuensi plasma
L_1, L_2	lengah fasa pembawa pada frekuensi f_1, f_2
mc	pemalar momemtum
m_e	jisim elektron, $9.109 \times 10^{-31} kg$
N	bilangan data
N_2	nitrogen
Ne	Ketumpatan elektron
O	oksigen
PE_t	peratusan ralat
PR	Julat semu
R	bilangan titik hitam
R_E	jejari Bumi

Rel_{corr}	pembetulan relatif
s	bilangan titik tunggal
x_i	bilangan nod di lapisan input masukan
lr	kadar pembelajaran
y_k	bilangan nod di lapisan keluaran
z_j	bilangan nod di lapisan tersembunyi
v_{oj}	bias di lapisan tersembunyi
w_{ok}	bias di lapisan keluaran
v_g	halaju kumpulan rawak semu
v_p	halaju fasa pembawa



PTTA UTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

SENARAI SINGKATAN

BP	perambatan balik
C/A	kod perolehan kasar
DNC	bilangan nombor dalam kosinus
DNS	bilangan nombor dalam sinus
Dst	gangguan ribut geomagnetik
EUV	ultralembayung terlampau
foF2	frekuensi genting
GISTM	GPS sintilasi ionosfera and TEC monitor
GNSS	sistem navigasi satelit global
GPS	sistem penentuan kedudukan global
HF	jalur frekuensi tinggi
HRC	bilangan jam dalam kosinus
HRS	bilangan jam dalam sinus
IPP	penemuan titik silang
IRI	rujukan antarabangsa ionosfera
LT	waktu tempatan
LOS	laluan nampak
MAPE	purata ralat peratusan mutlak
MLP	rangkaian perseptron berbilang lapisan
NN	rangkaian neural
OCXO	kristal oven yang dikawal pengayun
PRN	kod hingar rawak semu
P	kod persis
RMSE	ralat punca min kuasa dua
SLM	model lapisan tunggal
SSN	bilangan titik hitam pada permukaan Matahari
STEC	TEC menyendeng

TEC	jumlah kandungan elektron
TF	fungsi pengaktifan
UT	waktu universal
UV	ultralembayung
VHF	jalur frekuensi yang sangat tinggi
VTEC	TEC menegak



PTTA UTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Bab ini membincangkan secara ringkas mengenai kajian yang dijalankan untuk menilai kesesuaian rangkaian neural (*Neural Network*, NN) bagi meramalkan jumlah kandungan elektron (*Total Electron Content*, TEC) yang diperolehi dari stesen GPS di Malaysia. Bab ini dimulakan dengan penerangan latar belakang kajian. Seterusnya membincangkan permasalahan kajian dalam konteks kepentingan dan keperluan kajian ini perlu dijalankan. Di samping itu, objektif dan skop kajian dinyatakan bagi mencapai matlamat kajian ini dilaksanakan dengan teratur. Akhir sekali, organisasi tesis bagi setiap bab yang terdapat dalam tesis ini dirumuskan di akhir bab ini.

1.2 LATAR BELAKANG KAJIAN

Sistem penentuan kedudukan global (*Global Positioning System*, GPS), radar penyerakan yang tidak sekata (*incoherent*) dan ionosonde merupakan sistem yang dipilih oleh para penyelidik untuk mengkaji sifat-sifat ionosfera di Bumi (Yizengaw et al. 2004). Dalam konteks GPS, isyarat yang dipancarkan dari satelit ke Bumi mengalami lengah masa yang berkadar langsung dengan ketumpatan elektron bebas di sepanjang laluan isyarat dari satelit ke penerima GPS di Bumi. Lengah masa yang dialami oleh isyarat GPS ini membolehkan para penyelidik dalam bidang ionosfera mengetahui jumlah kandungan elektron pada masa yang tertentu. TEC adalah salah satu parameter fizikal yang diperolehi daripada data GPS dan memberikan petunjuk kepada kepelbagaian ionosfera.

Kajian mengenai lapisan ionosfera Bumi seringkali dikaitkan dengan nilai TEC.

Selain itu, pengetahuan mengenai nilai TEC juga memberi kepentingan dalam bidang kejuruteraan telekomunikasi terutamanya komunikasi radio, aplikasi yang melibatkan sistem navigasi, pengukuran GPS, dan cuaca di angkasa. Untuk memahami kesan-kesan ini, keperluan untuk membangunkan model peramalan TEC diperlukan. Ionosfera memberi kesan kepada isyarat radio bagi kesemua frekuensi yang disebabkan oleh serakan. Gelombang radio yang merambat ke ionosfera menerima kesan yang berbeza pada bukan linear dan rangkaian neural buatan sesuai dengan permodelan yang melibatkan kuantiti fizikal yang menunjukkan ciri-ciri yang bukan linear (Leandro & Santos 2007; Sarma & Madhu 2005; Willisroft & Poole 1996).

Nilai TEC pada lapisan ionosfera sentiasa berubah terhadap perubahan harian, perubahan musim, lokasi geografi, aktiviti suria dan aktiviti medan magnetik Bumi. Data TEC daripada rangkaian GPS dual frekuensi penerima dikira menggunakan model lapisan tunggal (*single layer mapping*, SLM). Perubahan harian dan musim diwakili oleh bilangan masa (*hour*, HR) dan bilangan hari (*day number*, DN). Aktiviti suria ini diwakili oleh bilangan titik hitam pada permukaan Matahari (*sunspot number*, SSN). Gangguan geomagnetik ini disebabkan oleh radiasi zarah dari sumber Matahari. Aktiviti medan magnetik pula diwakili oleh data K-indeks yang direkodkan dari Hermanus Magnetic Observatory. K-indeks telah digunakan oleh penyelidik terdahulu, bertujuan untuk permodelan ramalan TEC di Afrika Selatan oleh (Habarulema et al. 2007; Leandro & Santos 2007). Dalam kajian ini, indeks Kp dan indeks gangguan ribut geomagnetik (*disturbance storm time*, Dst) merupakan alternatif yang sesuai untuk mewakili aktiviti keadaan geomagnetik yang berlaku pada stesen GPS yang dikaji (Abdullah et al. 2010; Bahari 2010).

Kajian ini bertujuan untuk menilai kesesuaian model rangkaian neural buatan dalam meramalkan nilai TEC yang diperolehi dari GPS penerima di Malaysia. Isyarat GPS kebanyakannya dipengaruhi oleh lapisan ionosfera semasa merambat dari GPS satelit ke GPS penerima di permukaan Bumi. Penyelidikan ionosfera ini menggunakan data TEC dari stesen penerima GPS yang terpilih. Ionosfera merupakan salah satu lapisan yang berada di atmosfera atas dan terletak di antara ketinggian 50 km hingga 1000 km di atas permukaan Bumi dan memberi kesan kepada perambatan gelombang radio (Abdullah et al. 2009). Oleh itu, kajian tesis ini bertujuan untuk membangunkan

model peramalan nilai TEC di kawasan Semenanjung Malaysia bagi menyiasat struktur duniawi dalam keadaan geomagnetik tenang dan terganggu. Bagi mencapai objektif ini, data TEC dari (*GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor*, GISTM) dikumpulkan dan digunakan untuk pembangunan model peramalan TEC di kawasan Semenanjung Malaysia. Kajian ini dijalankan secara berasingan terhadap dua stesen penerima GIS-TM iaitu stesen Universiti Kebangsaan Malaysia, UKM dan stesen Observatori Negara Langkawi, Langkawi.

1.3 PERMASALAHAN KAJIAN

Kajian mengenai lapisan ionosfera Bumi dikaitkan dengan jumlah kandungan elektron (*Total Electron Content*, TEC). Pengetahuan mengenai nilai TEC memberikan kepentingan dalam bidang kejuruteraan telekomunikasi terutamanya dalam perambatan trans-ionosfera. Pelbagai kajian terhadap ionosfera di Malaysia telah dijalankan oleh penyelidik untuk memahami ciri ionosfera di Malaysia. Berdasarkan kajian terdahulu, ionosfera di Malaysia mengalami anomali dan menunjukkan variasi harian, bermusim, terhadap latitud, longitud serta aktiviti suria dan variasi geomagnetik (Bahari et al. 2015; Buhari et al. 2017). Kajian yang berkaitan dengan TEC di negara maju menggunakan sistem navigasi satelit global (*Global Navigation Satellite System*, GNSS) yang telah bermula sejak 20 tahun dahulu tetapi kajian berkaitan dengan peramalan TEC yang tertumpu pada kawasan Malaysia amat sedikit dijalankan. Contohnya, Yaacob et al. (2010) mengkaji perbandingan nilai ramalan TEC ionosfera menggunakan penerima dual frekuensi dan pemetaan TEC menggunakan perisian *Bernese GPS software*, (BGS) terhadap ramalan nilai TEC menggunakan teknik penentuan kedudukan yang tepat (*Precise Point Positioning*, PPP). Manakala, Elmunim et al. (2015) menggunakan kaedah statistik Holt-Winter dalam meramalkan lengah ionosfera menggunakan data TEC. Ionosfera dikaji menggunakan parameter yang berbeza, termasuklah nilai TEC dari GPS. GPS telah menjadi pilihan untuk mengkaji sifat ionosfera termasuk TEC dan profil keamatan elektron kerana satelit GPS yang mengorbit Bumi pada altitud 20,200 km dan menghantar isyarat kepada penerima GPS di permukaan Bumi perlu melalui lapisan ionosfera.

Beberapa model global ionosfera telah dibangunkan untuk meramalkan kepelba-

gaian variasi ionosfera di beberapa tempat yang berbeza di seluruh dunia seperti model Bent yang dibangunkan oleh Llewellyn & Bent (1973), model Klobuchar dibangunkan pada tahun 1975 oleh Klobuchar (1975), model Rujukan Antarabangsa Ionosfera (*International Reference Ionosphere*, IRI) mula dibangunkan pada tahun 1978 oleh Rawer et al. (1978), dan model Nequick yang telah dibangunkan oleh Coisson et al. (2002). Namun sebahagian model-model ini mengalami masalah kekurangan data GPS yang meliputi kawasan Khatulistiwa terutamanya data di kawasan Semenanjung Malaysia. Maka, model-model tersebut tidak dapat memberi ramalan yang tepat mengenai variasi ionosfera di kawasan Semenanjung Malaysia. Selain itu, ketumpatan elektron turut dipengaruhi oleh perubahan cuaca bermusim iaitu ekuinoks dan solstis. Ekuinoks berlaku apabila matahari melintasi kawasan Khatulistiwa dan waktu siang dan malam menjadi sama panjang. Solstis pula berlaku apabila Matahari berada paling jauh ke utara atau ke selatan Khatulistiwa (Bahari et al. 2015). Walaupun di kawasan Khatulistiwa tidak mengalami perubahan musim seperti ekuinoks (musim bunga dan musim luruh) dan solstis (musim panas dan musim sejuk), tapi kajian terdahulu membuktikan bahawa perubahan musim juga memberi kesan kepada perubahan TEC di kawasan Khatulistiwa (Bahari 2010; Watthanasangmechai et al. 2012).

Kajian ini bertujuan membangunkan satu model yang sesuai bagi aktiviti peramalan kepelbagaian nilai TEC di kawasan Semenanjung Malaysia. Ionosfera ke atas Malaysia adalah unik kerana lokasinya berhampiran Khatulistiwa di mana kewujudan anomali Khatulistiwa, elektrojet menjadikan kawasan ini sangat sesuai untuk mengkaji dan memahami sifat-sifat ionosfera dan kesannya kepada isyarat GPS seperti yang dicadangkan oleh Zain et al. (2005). Kajian mengenai ramalan ionosfera adalah sangat penting dengan harapan bahawa suatu hari nanti kita dapat meramalkan nilai TEC di lapisan ionosfera dan hasil dari penyelidikan ini akan dapat menyumbangkan kepada pengetahuan berkaitan dengan sifat-sifat ionosfera di Malaysia. Peramalan nilai TEC adalah penting untuk pengukuran yang tepat dan dapat menyumbangkan maklumat yang berharga kepada sistem komunikasi navigasi satelit, cuaca di angkasa, komunikasi radio dan aplikasi lain. Hasil dari kajian ini juga turut menawarkan peluang untuk mendapatkan semula data yang hilang melalui model peramalan TEC yang dibina. Kajian ini juga akan menyumbang kepada penyelidikan ke atas komunikasi radio di kawasan

Khatulistiwa terutamanya kawasan di Semenanjung Malaysia.

1.4 OBJEKTIF KAJIAN

Untuk membangunkan model peramalan TEC di kawasan Semenanjung Malaysia, terdapat beberapa objektif yang perlu dicapai. Objektif ini dinyatakan seperti berikut:

- i. Mengenalpasti parameter yang mempengaruhi kepelbagaian nilai TEC dalam membangunkan model peramalan.
- ii. Meramalkan kebolehubahan TEC dengan menggunakan model rangkaian neural dalam keadaan ribut geomagnetik tenang dan terganggu.
- iii. Membandingkan keberkesanan permodelan rangkaian neural dengan model peramalan global, model IRI-2012.

1.5 SKOP KAJIAN

Penyelidikan ini memberi tumpuan dalam pemodelan peramalan nilai TEC menggunakan pendekatan baru di kawasan Khatulistiwa terutamanya di Semenanjung Malaysia. Oleh itu, kajian ini menggunakan data dari sistem GPS dengan memberikan tumpuan kepada pengukuran nilai TEC daripada jalur frekuensi L1 dan L2 sahaja. Walau bagaimanapun, pengukuran dari infrastruktur sistem navigasi satelit sistem (*Global Navigation Satellite System*, GNSS) yang lain seperti GLONASS, Galileo, Beidou dan lain-lain tidak dipertimbangkan dalam kajian ini. Kajian ini hanya menggunakan data GPS yang diperolehi daripada stesen Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dan stesen Observatori Negara Langkawi, LGKW dari tahun 2011 hingga 2015. Dalam kajian ini, perubahan nilai TEC diramalkan dengan menggunakan model peramalan rangkaian neural buatan.

Di awal penyelidikan, penentuan input parameter yang mempengaruhi nilai TEC dikenalpasti terlebih dahulu. Dalam bahagian ini, nilai TEC bagi stesen tunggal UKM digunakan. Keputusan peramalan nilai TEC disahkan dengan data TEC rujukan (GPS-

TEC) dalam perubahan TEC harian dan perubahan TEC musim. Kecekapan peramalan nilai TEC diuji bagi menentukan keupayaan model NN semasa berlakunya perubahan bagi musim ekuinoks dan musim solstis. Walaupun di kawasan Semenanjung Malaysia tidak mengalami perubahan musim, namun kesan ini turut mempengaruhi nilai bacaan TEC tersebut. Perubahan bagi musim ekuinoks ini berlaku ketika kedudukan Matahari berada tegak di garisan Khatulistiwa dan musim solstis berlaku apabila kedudukan Bumi dalam keadaan condong 23.5° terhadap Matahari.

Di samping itu, model NN juga dibandingkan dengan model IRI-2012 dengan menggunakan pilihan kepadatan elektron atas, iaitu IRI01-corr. Selain itu, ketika geomagnetik tenang dan terganggu berlaku, nilai TEC rujukan (GPS-TEC) diperhatikan dan kemudiannya dibandingkan dengan nilai peramalan TEC bagi model NN dan model IRI01-corr. Seterusnya, keputusan yang diperolehi dari proses pembelajaran data latihan bagi stesen UKM digunakan untuk meramalkan nilai TEC bagi stesen LGKW. Ini bertujuan untuk mengesahkan bahawa model NN yang dibina pada stesen UKM boleh meramalkan nilai TEC pada stesen yang lain di kawasan Semenanjung Malaysia yang datanya tidak digunakan semasa proses latihan NN.

1.6 ORGANISASI TESIS

Tesis ini mengandungi enam bab dan huraian setiap bab dinyatakan seperti berikut:

Bab I mengulaskan secara ringkas mengenai latar belakang kajian permodelan nilai TEC. Seterusnya, penerangan mengenai permasalahan kajian termasuklah kepentingan kajian yang dijalankan. Objektif dan skop kajian turut dinyatakan di dalam bab ini.

Bab II menerangkan secara keseluruhan mengenai pembentukan serta unsur-unsur di ionosfera dan menggambarkan teknik rangkaian neural buatan yang digunakan untuk meramalkan nilai TEC. Penggunaan rangkaian neural buatan adalah satu konsep yang luas dan oleh itu hanya teknik suapan ke hadapan digunakan dalam kajian tesis ini. Selain itu, kajian-kajian yang telah dijalankan oleh para penyelidik terdahulu yang

berkaitan dengan peramalan TEC turut dibincangkan.

Bab III menjelaskan kaedah pengukuran GPS yang digunakan dalam kajian ionosfera. Penerangan ringkas mengenai algoritma yang digunakan bagi memperoleh data TEC dari stesen penerima GISTM di stesen UKM dan LGKW. Seterusnya, penerangan bagi penyediaan data dari stesen penerima GISTM dan penjelasan daripada proses pemprosesan dan analisis data GISTM. Kaedah pengiraan nilai TEC menegak (*vertical TEC*, VTEC) dengan menggunakan teknik model lapisan tunggal diterangkan. Penentuan input parameter dalam model NN turut dibincangkan dalam bab ini.

Bab IV menerangkan kaedah permodelan peramalan nilai TEC dari aspek pembahagian data latihan dan peramalan dijelaskan. Sejurus itu, pemilihan data dalam keadaan ribut juga dijelaskan bagi melihat keputusan peramalan TEC dari model NN ketika berlakunya keadaan geomagnetik tenang dan terganggu. Di samping itu, data yang digunakan dalam pengukuran ralat dibincangkan bagi menjelaskan keberkesanan permodelan TEC (NN dan IRI01-corr) terhadap nilai TEC rujukan (GPS-TEC) dari stesen penerima GISTM yang terlibat.

Bab V membentangkan keputusan peramalan TEC terhadap perubahan TEC harian dan musim di stesen UKM terlebih dahulu. Kemudiannya, TEC permodelan diteruskan untuk melihat keberkesanan model dalam peramalan TEC ketika berlakunya geomagnetik tenang dan terganggu di stesen UKM. Di akhir kajian, keputusan yang diperolehi daripada model peramalan NN di stesen UKM akan digunakan untuk meramalkan nilai TEC di stesen LGKW pula bagi menentusahkan keberkesanan model NN yang dibina dalam meramalkan nilai TEC. Pengiraan ralat mutlak, ralat relatif, ralat punca min kuasa dua (*Root Mean Square Error*, RMSE) dan punca ralat peratusan mutlak (*Mean Absolute Percentage Error*, MAPE) terhadap keberkesanan model dibincangkan pada setiap keputusan yang diperolehi.

Bab VI akan merangkumkan kesimpulan daripada keseluruhan kajian yang telah dijalankan di dalam kajian tesis ini. Di samping itu, terdapat beberapa cadangan untuk meneruskan kajian ini pada masa hadapan.

BAB II

TINJAUAN MENGENAI IONOSFERA

2.1 PENGENALAN

Bab ini membentangkan struktur asas ionosfera dan ciri-ciri yang terdapat di lapisan ionosfera. Struktur ionosfera dan hubungan di antara jumlah kandungan elektron (*total electron content*, TEC) dibincangkan secara ringkas. TEC ditakrifkan sebagai jumlah elektron yang terdapat di sepanjang laluan nampak yang dipancarkan oleh GPS satelit kepada penerima di Bumi. TEC adalah parameter yang baik untuk memantau sebarang kemungkinan terhadap kesan cuaca di angkasa. Parameter yang mempengaruhi TEC juga dibincangkan dalam bab ini. Pengenalan rangkaian neural buatan diterangkan secara ringkas dalam bab ini. Selain itu, model peramalan ionosfera yang sedia ada juga dibincangkan dalam bab ini antaranya model Klobuchar, Bent, Nequick dan Rujukan Antarabangsa Ionosfera (*International Reference Ionosphere*, IRI). Kebanyakan model global yang sedia ada ini tidak dapat memberi ramalan yang tepat kerana kekurangan data dari kawasan Khatulistiwa.

2.2 PEMBENTUKAN IONOSFERA

Atmosfera dibahagikan kepada beberapa lapisan iaitu troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera dan eksosfera dengan ciri-ciri suhu dan ketinggian yang berbeza dari aras permukaan Bumi. Lapisan ionosfera terbentuk melalui proses pengionan yang berlaku disebabkan oleh radiasi ultralembayung sinar gama dan sinar-X ke atas atom dan molekul neutral di dalam lapisan atmosfera Bumi yang menghasilkan elektron bebas yang penting dalam komunikasi radio (Davis et al. 1997). Lapisan ini adalah sebahagian

dari lapisan atmosfera yang terletak pada ketinggian 50 km sehingga 1000 km dari permukaan Bumi. Gas-gas utama dalam atmosfera yang wujud pada ketinggian ini ialah nitrogen (N_2), oksigen (O_2) dan atom-atom oksigen (O). Lapisan ionosfera dipisahkan kepada tiga lapisan utama, yang akan dijelaskan secara terperinci dalam Bahagian 2.3.

Pengionan ini dipengaruhi oleh aktiviti Matahari yang sentiasa akan berubah mengikut kadar keamatan sinarnya. Oleh itu, terdapat beberapa kesan tertentu yang mempengaruhi proses pengionan ini seperti perubahan waktu setempat dengan adanya perubahan siang dan malam, perubahan musim dan kitaran suria. Pada waktu siang, keamatan sinaran Matahari yang tinggi menghasilkan banyak elektron bebas kerana pengionan berkadar langsung dengan sudut zenit Matahari. Pada waktu malam, sumber sinaran daripada Matahari sangat rendah dan tidak berlaku proses pengionan maka elektron bebas akan bergabung dengan ion dan mengurangkan jumlah ketumpatan elektron.

Perubahan musim disebabkan oleh putaran Bumi di sekitar Matahari, maka sudut sinaran Matahari berubah terhadap perubahan musim. Contohnya, kawasan yang mengalami musim sejuk amnya menerima sinaran Matahari yang kurang dan mengakibatkan proses pengionan yang agak lemah. Kedudukan geografi juga memberi kesan terhadap proses pengionan sama ada lokasi tersebut terletak di kawasan latitud tinggi (kutub), latitud pertengahan mahupun latitud rendah (Khatulistiwa). Selain itu, proses pengionan ini juga berbeza-beza dengan sebelas tahun kitaran suria yang sangat berkaitan dengan bilangan titik hitam pada permukaan Matahari (*sunspot number*, SSN). Kitaran suria adalah ukuran berkala terhadap perubahan aktiviti Matahari. Semasa kitaran suria maksimum, tahap peningkatan sinaran Matahari menghasilkan lebih banyak elektron bebas dalam ionosfera dan begitu juga sebaliknya.

Lapisan ionosfera bertindak sebagai kawasan konduktif yang memantulkan semula isyarat gelombang radio pada frekuensi–frekuensi tertentu ke stesen penerima di Bumi. Lapisan ionosfera akan memantulkan semula gelombang radio yang berfrekuensi lebih rendah daripada 30 MHz. Apabila rambatan gelombang radio seperti GPS yang berfrekuensi ultra lembayung tinggi melalui lapisan ionosfera, halaju isyaratnya akan dipengaruhi oleh elektron yang bebas ini (Kamaruddin & Akib 1998). Lapisan ini banyak menyumbangkan kepentingan dan salah satu ciri yang mempengaruhi peman-

tulan isyarat gelombang radio adalah disebabkan oleh kandungan elektron pada lapisan berkenaan yang berubah-ubah bergantung kepada aktiviti suria, kedudukan geografi sesuatu tempat dan juga aktiviti magnetik Bumi. Kesan ketara ini ditunjukkan semasa waktu siang dengan tahap proses pengionan yang tinggi kesan daripada sinaran suria yang kuat. Kedudukan Malaysia terletak di kawasan Khatulistiwa yang menjadikan kawasan ini sangat sesuai untuk mengkaji dan memahami sifat-sifat ionosfera.

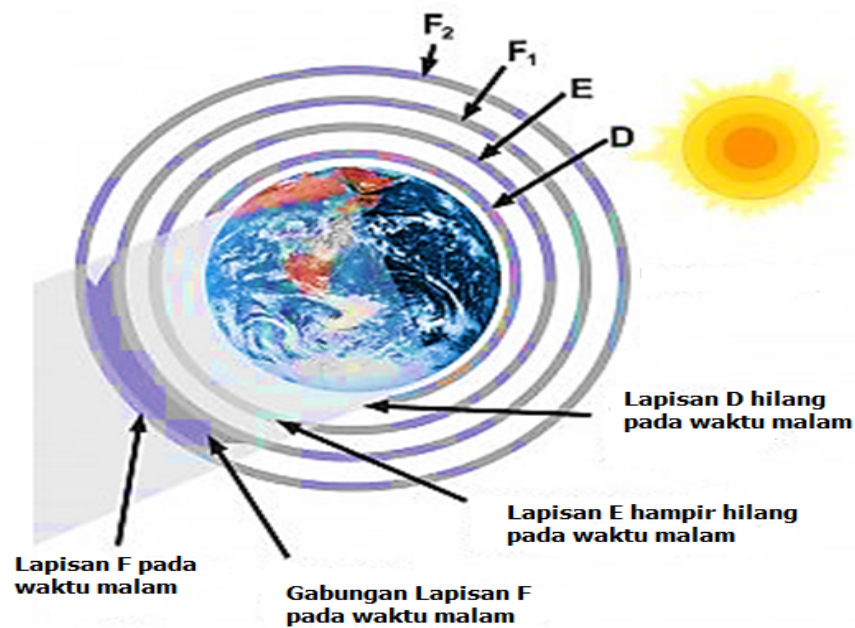
2.3 STRUKTUR LAPISAN IONOSFERA

Secara amnya, lapisan ionosfera ini terdiri daripada beberapa lapisan yang mempunyai perbezaan dari segi kandungan molekul-molekul, ketinggian dari aras laut dan ketumpatan elektron. Lapisan ionosfera di kaji kerana lapisan ini merupakan satu lapisan atmosfera Bumi yang mengandungi elektron bebas dan boleh memberi kesan kepada perambatan gelombang elektromagnetik terutamanya kepada sistem penentuan kedudukan global, (GPS). Kajian mengenai lapisan ionosfera Bumi seringkali dikaitkan dengan jumlah kandungan elektron, (TEC). TEC merupakan satu parameter yang amat berguna untuk mengesan gangguan dalam lapisan ionosfera.

Lapisan ionosfera terbahagi kepada tiga lapisan utama iaitu lapisan D, E dan F. Pembahagian lapisan ini berdasarkan dari segi komposisi ion dan molekul, penyerapan sinaran, tindak balas kimia dan ketumpatan elektron yang bergantung kepada keadaan siang dan malam seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Rajah 2.1 menunjukkan kehadiran lapisan D, E dan F ketika waktu siang dan malam (NASA 2009). Penerangan ringkas mengenai perbezaan struktur lapisan ionosfera ini akan dibincangkan di bawah.

a. Lapisan D

Lapisan D merupakan kawasan yang paling bawah di lapisan ionosfera dan terletak pada ketinggian 50 km sehingga 90 km dari permukaan Bumi. Lapisan ini terhasil daripada proses pengionan oleh beberapa molekul Sinar-X dan radiasi Lyman- α . Ketumpatan elektron dicatatkan kira-kira 10^2 sehingga 10^4 elektron/cm³ pada waktu siang



Rajah 2.1 Kehadiran lapisan ionosfera ketika waktu siang dan malam

Sumber: Adaptasi dari NASA 2009.

dan lapisan ini akan lenyap pada waktu malam. Ini adalah kerana, pada waktu malam penggabungan molekul ion dan elektron akan berlaku. Ini menyebabkan gelombang radio boleh sampai ke lapisan ionosfera yang lebih tinggi. Proses penggabungan semula adalah tinggi pada waktu malam menyebabkan ketumpatan elektron berkurang. Ini menyebabkan kadar penyerapan gelombang radio adalah tinggi pada waktu siang dan rendah pada waktu malam. Lapisan ini dapat menyerap isyarat radio sehingga ke isyarat frekuensi yang sangat tinggi (*Very High Frequency*, VHF). Lapisan ini tidak memberi sebarang kesan kepada isyarat GPS (Liao 2000).

b. Lapisan E

Lapisan E merupakan lapisan kedua selepas lapisan D. Lapisan ini terletak di antara ketinggian 90 km sehingga 140 km di atas permukaan Bumi. Pada waktu siang, ketumpatan elektron yang maksimum dicatatkan kira-kira 10^5 elektron/cm³, manakala pada waktu malam dicatatkan kira-kira 10^4 elektron/cm³. Molekul utama yang mengalami proses pengionan adalah molekul oksigen (O_2). Pada waktu siang, lapisan ini akan bergerak menghampiri permukaan Bumi dan memberi kesan terhadap isyarat gelombang radio yang berfrekuensi kurang dari 10 MHz. Penyerapan isyarat dalam lapisan

ini adalah kurang berbanding lapisan D dan ianya boleh membantu dalam perambatan jarak jauh. Lapisan ini hanya memberi kesan yang minimum terhadap perambatan isyarat GPS. Pada waktu malam, sebahagian lapisan ini menghilang disebabkan sumber pengionan dari Matahari tidak lagi ada dan bertambah ketinggian ke ketinggian maksimum di lapisan E dan meningkatkan julat perjalanan pantulan gelombang.

c. Lapisan F

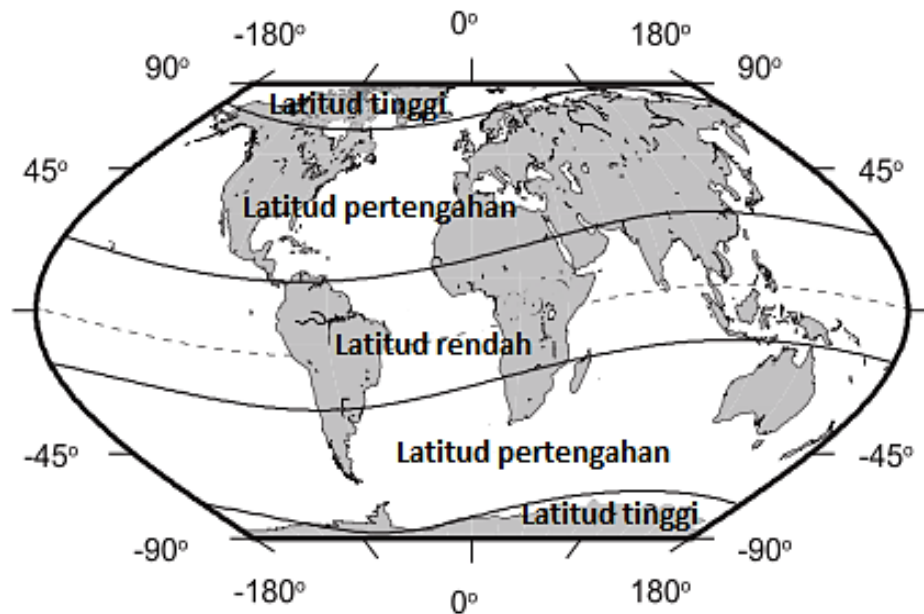
Lapisan terakhir ialah lapisan F yang terletak pada ketinggian 140 km hingga 1000 km. Lapisan ini terbahagi kepada dua lapisan iaitu lapisan F1 dan F2. Lapisan F1 merupakan satu lapisan yang terletak pada ketinggian 140 km sehingga 210 km, manakala lapisan F2 terletak pada 210 km sehingga 1000 km (Abdullah et al. 2009). Pada garis lintang pertengahan, ketinggian lapisan F ini sekitar 250 - 350 km, manakala di garisan Khatulistiwa, ketinggian lapisan ini terletak di antara 350 - 500 km. Lapisan F1 akan wujud pada waktu siang hari, namun lapisan ini akan menghilang pada waktu malam apabila proses tindak balas tidak berlaku. Manakala, lapisan F2 merupakan lapisan yang paling tumpat dan mempunyai tahap kebolehubahan yang tinggi dan memberi kesan yang ketara terhadap isyarat GPS yang diterima. Lapisan F2 berperanan untuk perambatan gelombang radio, komunikasi radio yang berfrekuensi tinggi melalui jarak yang lebih panjang.

Lapisan ionosfera yang lain seperti D, E dan F1 yang bersifat lebih kepada perubahan jangka panjang. Manakala lapisan F2 lebih kepada perubahan jangka pendek, iaitu kira-kira dalam beberapa jam dengan nilai TEC yang tinggi ketika musim ekuinoks (Oyeyemi et al. 2006). Ini adalah merujuk kepada masa yang diambil untuk gelombang perambatan radio sampai ke Bumi. Sifat semula jadi lapisan F2 yang kompleks menyebabkan lapisan ini memberi kesan terhadap komunikasi dengan ionosfera dan juga yang merentasannya (Oyeyemi et al. 2006; Stamper et al. 2004). Secara amnya, lapisan yang terdapat pada struktur lapisan ionosfera ini berubah-ubah pada waktu malam ataupun siang bergantung kepada aktiviti Matahari. Lazimnya, lapisan D akan hilang di ruang udara, lapisan E akan berkurangan manakala lapisan F1 dan F2 akan bergabung untuk membentuk satu lapisan sahaja pada waktu malam. Pada waktu malam, jumlah

ketumpatan elektron adalah rendah berbanding dengan waktu siang (El-Rabbany 2002).

2.4 VARIASI IONOSFERA BERDASARKAN PERBEZAAN LATITUD

Garis lintang Bumi boleh dibahagikan kepada tiga rantau, iaitu latitud tinggi atau kutub, latitud pertengahan dan latitud rendah atau lebih dikenali sebagai Khatulistiwa (Elizei 2013). Rajah 2.2 menunjukkan perbezaan latitud terhadap permukaan Bumi. Penerangan ringkas mengenai perbezaan latitud dibincangkan di bawah.



Rajah 2.2 Perbezaan Latitud

Sumber: Adaptasi dari Elizei 2013.

Kawasan lintang tinggi atau kutub terdiri daripada zon auroral di antara kira-kira 60° sehingga 90° garis lintang di Utara dan Selatan. Di kawasan ini, jumlah ketumpatan elektron adalah jauh lebih rendah daripada kawasan di latitud rendah. Fenomena cahaya teja (*aurora*) akan berlaku pada kawasan ini kerana atom yang terion oleh zarah bertenaga tinggi akan menghilang dan membebaskan foton pada spektrum-spektrum berwarna.

Latitud pertengahan pula terletak di antara 30° sehingga 60° di kedua-dua belah

Utara dan Selatan. Di kawasan ini, pengionan hanya disebabkan oleh radiasi Matahari dan ketumpatan elektron yang tidak tertakluk kepada sinaran zarah. Kawasan ini sering terdedah kepada gangguan yang bergerak dari kawasan Khatulistiwa sehingga ke kawasan kutub atau sebaliknya.

Latitud rendah pula terletak di antara 30° Utara dan Selatan. Garisan Khatulistiwa dikenali sebagai garisan di 0° . Garisan ini dianggap sebagai kawasan yang mempunyai ketumpatan elektron yang tinggi kerana radiasi yang tinggi dari Matahari. Oleh itu, hasil elektron terkumpul di rantau ini mempengaruhi perambatan gelombang radio yang sebahagian besarnya mempengaruhi sistem komunikasi satelit.

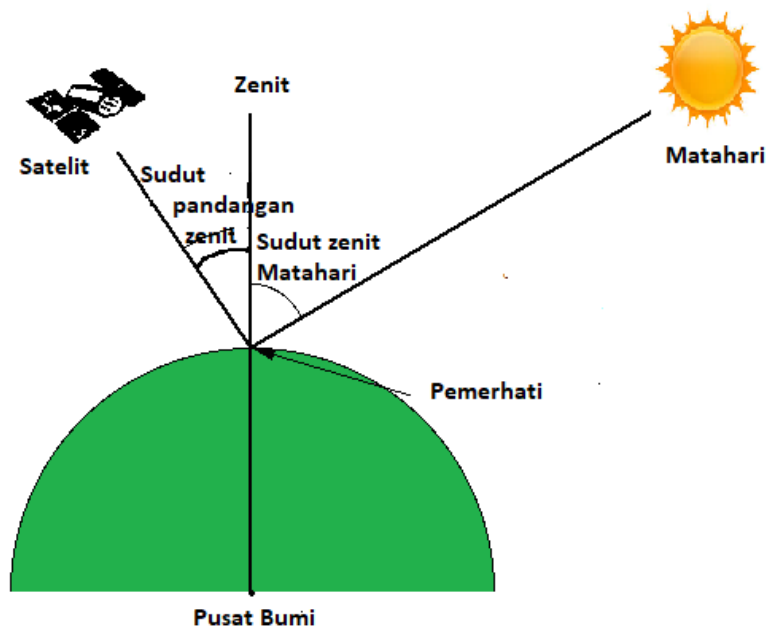
2.5 KEPELBAGAIAN PERUBAHAN IONOSFERA

Lapisan F2 pada struktur ionosfera dianggap sebagai 'makmal angkasa lepas' kerana mempunyai hubungan di antara Matahari, angin suria dan medan magnet Bumi yang memberi kesan secara langsung terhadap lapisan ionosfera. Jumlah ketumpatan elektron di lapisan F2 sentiasa berubah mengikut perubahan masa harian (*diurnal*), perubahan musim (*seasonal*) yang disebabkan oleh sudut zenit Matahari yang berubah dan kitaran sebelas (11) tahun aktiviti suria (Oyeyemi et al. 2006; Forbes et al. 2002). Parameter yang dibincangkan dalam bahagian ini adalah parameter yang mempengaruhi kepelbagaian nilai TEC dan merupakan parameter penting dalam permodelan TEC di Malaysia. Variasi jangka panjang dan pendek dalam ionosfera telah dipantau melalui kajian taburan *temporal* dan *spatial* bagi ketumpatan elektron dalam tempoh masa yang panjang. Sebahagian besar daripada faktor-faktor yang menggambarkan kepelbagaian ionosfera adalah saling berkait dengan sumber dari Matahari dan aktivitinya di bawah keadaan cuaca angkasa yang berbeza.

2.5.1 Perubahan Harian

Perubahan harian merujuk kepada nilai TEC pada waktu siang hingga ke malam yang disebabkan oleh putaran Bumi dan Matahari yang bergantung kepada sudut zenit Mata-

hari. Nilai TEC yang tinggi diperolehi pada waktu siang dan rendah pada waktu malam. Fenomena ini disebabkan oleh proses pengionan yang tidak berlaku pada waktu malam kerana tidak ada sinaran matahari pada waktu tersebut. Rajah 2.3 menunjukkan sudut zenit bagi Matahari. Sudut zenit Matahari adalah sudut di antara Matahari ke pemerhati. Ketika Matahari tegak di atas pemerhati, sudut zenit adalah sifar. Ketika Matahari terbit dan terbenam, sudut zenit berada lebih kurang 90° dari garisan pemerhati ke Matahari.



Rajah 2.3 Sudut zenit bagi Matahari

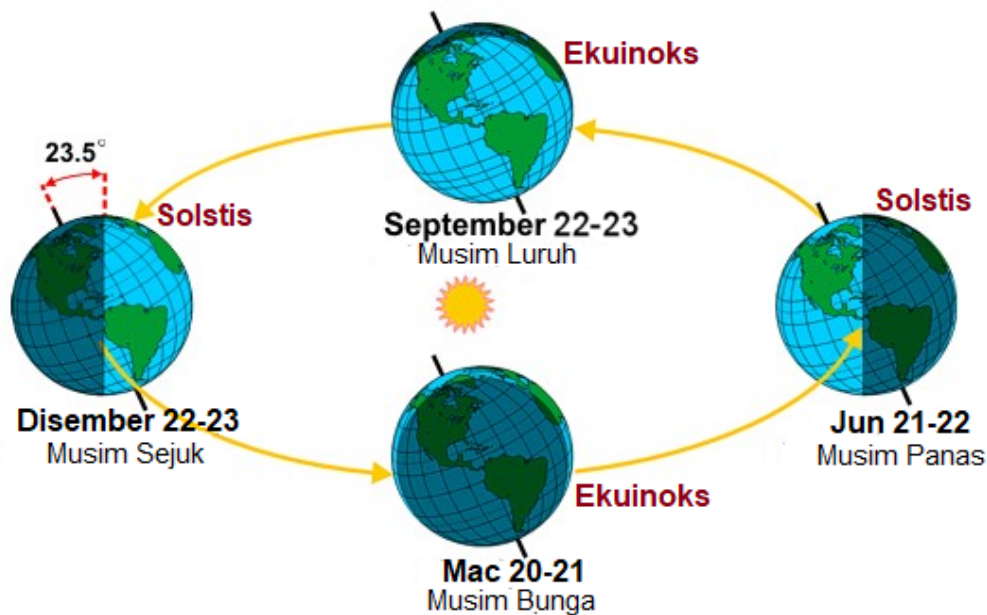
Sumber: Bahari 2010.

Pada waktu tengahari di musim ekuinoks pada bulan (Mac dan September), kedudukan Matahari akan berada tegak di atas kepala pemerhati di kawasan Khatulistiwa dan memberikan nilai sifar pada sudut zenit. Manakala pada musim solstis pada bulan (Jun dan Disember) pula, kedudukan Matahari akan berserenjang dengan garisan di kawasan kutub Utara dan Selatan.

2.5.2 Perubahan Musim

Perubahan musim bergantung kepada penerimaan sinaran Matahari pada kawasan - kawasan tertentu di Bumi. Perubahan ini disebabkan oleh kedudukan dan putaran Bumi yang senget dari paksinya. Bumi berputar mengelilingi Matahari di mana sinaran Mata-

hari bergerak dari satu hemisfera ke hemisfera yang lain dan menyebabkan berlakunya perubahan musim (Cleveland 2017). Ini membawa kepada perbezaan dalam sudut zenit Matahari dan keamatannya berbeza pada sebarang lokasi geografi di permukaan Bumi. Rajah 2.4 menunjukkan perubahan musim bagi sepanjang tahun yang diwakili oleh musim ekuinoks dan solstis.



Rajah 2.4 Perubahan musim sepanjang tahun

Sumber: Adaptasi dari Cleveland 2017.

Perubahan bermusim ini dibahagikan kepada dua musim iaitu musim ekuinoks dan solstis. Musim ekuinoks berlaku dua kali setahun, ketika Bumi berada tegak pada paksinya semasa mengelilingi Matahari dan menyebabkan seluruh kawasan sama ada di Hemisfera Utara dan Selatan mengalami julat masa yang sama iaitu setiap 12 jam pada waktu siang dan malam. Musim ekuinoks terbahagi kepada dua iaitu musim bunga (20 atau 21 Mac) dan musim luruh (22 atau 23 September) pada setiap tahun. Manakala pada musim solstis, ianya berlaku apabila kedudukan kutub Utara Bumi condong 23.5° terhadap Matahari. Pada masa ini, semua tempat yang terletak di Utara dan Selatan Khatulistiwa akan mengalami julat masa siang yang berbeza antara satu sama lain. Musim solstis juga terbahagi kepada dua iaitu musim panas (21 atau 22 Jun) dan solstis musim sejuk (22 atau 23 Disember) pada setiap tahun. Musim solstis panas berlaku apabila kecondongan Hemisfera Utara Bumi ke arah Matahari adalah maksimum. Manakala pada musim solstis sejuk berlaku apabila Hemisfera Selatan Bumi menerima sinaran

Matahari yang berbeza dan mengakibatkan waktu siang yang singkat dan waktu malam yang panjang di sepanjang tahun. Ketumpatan elektron yang maksima dicatatkan pada musim panas berbanding dengan musim sejuk. Fenomena ini adalah disebabkan berlakunya proses pengionan yang meningkat semasa musim panas (Oyeyemi et al. 2006; Habarulema et al. 2009b).

2.5.3 Perubahan Kitaran Suria

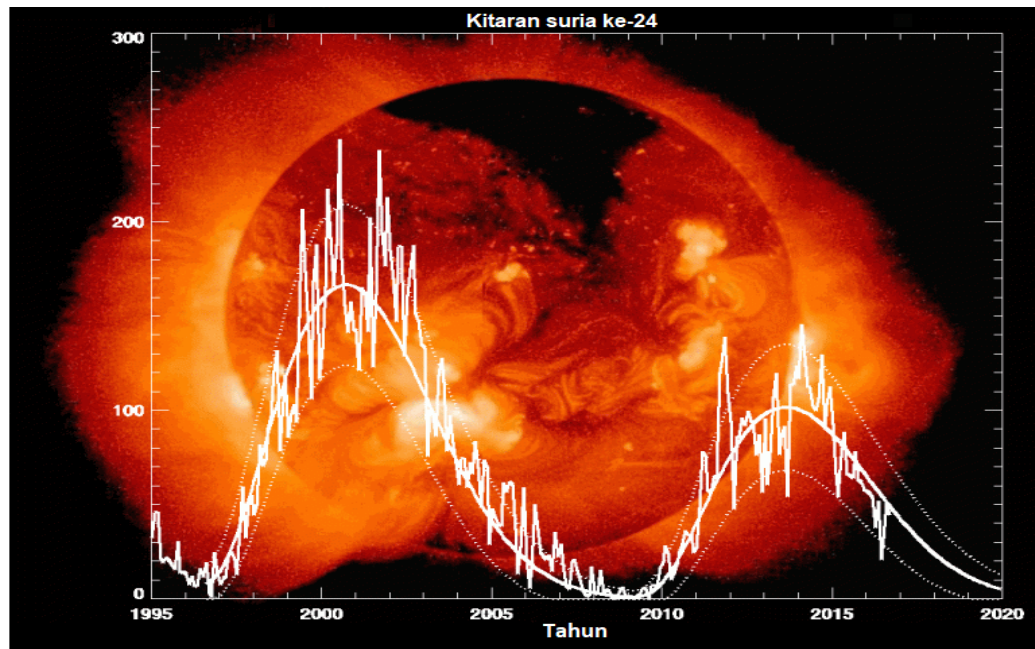
Aktiviti kitaran suria adalah berkaitan dengan kemunculan dan kehilangan titik hitam pada permukaan Matahari. Titik hitam biasanya muncul secara berkumpulan ataupun berpasang-pasangan. Setiap kumpulan biasanya mempunyai satu atau lebih titik hitam. Titik hitam bergerak bersama Matahari dari arah timur ke barat. Matahari dan Bumi berputar pada arah yang sama. Titik hitam ini dicatatkan dengan bilangan dan dikenali sebagai bilangan titik hitam (*sunspot number*, SSN) pada permukaan Matahari. Pengiraan SSN adalah berpandukan Wolf yang telah dibangunkan pada tahun 1848. Pengiraan bagi SSN dijelaskan pada persamaan(2.1) di bawah:

$$R = k (10g + s) \quad (2.1)$$

Dimana R ialah bilangan titik hitam, g ialah bilangan kumpulan titik hitam, s ialah bilangan titik tunggal dan k ialah pemalar balai cerap dengan kepekaan peralatan pencerapan yang digunakan.

Satu kitaran SSN adalah bersamaan dengan sebelas (11) tahun dan merangkumi aktiviti ketika SSN maksimum dan minimum (Hathaway 2017). Pada keadaan SSN maksimum, Matahari sedang mengalami masa aktifnya, dan begitulah sebaliknya. Aktiviti lapisan ionosfera di Bumi sangat berkait rapat dengan bilangan SSN. Rajah 2.5 menunjukkan kitaran suria bagi 11 tahun pada kitaran suria ke-23 sehingga kitaran suria ke-24. Menurut Oyeyemi et al. (2006), ketika berlakunya suria maksimum terutama ketika masa aktiviti Matahari adalah tinggi, jumlah radiasi ultralembayung lampau (*extreme ultraviolet*, EUV) yang sampai ke lapisan ionosfera meningkat dengan ting-

gi. Ini dapat dilihat dalam peningkatan dalam proses pengionan dengan ketumpatan ion tinggi pada semua lapisan ionosfera.



Rajah 2.5 Kitaran suria ke-23 dan Kitaran suria ke-24

Sumber: Adaptasi dari Hathaway 2017.

2.5.4 Kesan Aktiviti Geomagnetik

Sinaran ultralembayung dari Matahari adalah sumber perolakan haba pada ketinggian ionosfera. Kesan ini akan membawa kepada pergerakan ion dan elektron yang merentasi medan geomagnetik. Seterusnya ia akan menimbulkan arus yang akan menimbulkan medan magnet dalam persekitaran ionosfera, variasi yang kemudiannya diperhatikan sebagai geomagnetik turun naik di permukaan Bumi (Ondoh & Marubashi 2001). Semasa tempoh ribut geomagnetik berlaku, ketumpatan elektron ionosfera dicirikan kepada kesan negatif dan positif, bergantung kepada kekuatan gangguan itu sendiri.

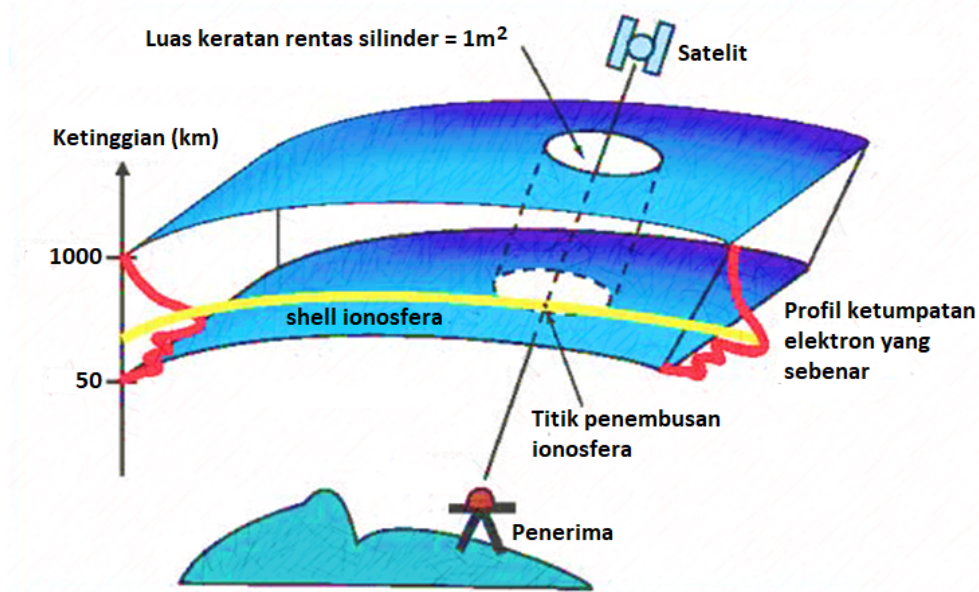
2.6 KESAN IONOSFERA TERHADAP GPS

Disebabkan sifat penyebaran ionosfera, kelewatan isyarat GPS berkadar songsang dengan dual frekuensi dan berkadar terus dengan TEC (Reddy 2002). Untuk mengukur kesan penyebaran secara berkesan pada isyarat GPS yang bergerak melalui atmosfera Bumi, indeks biasan harus diketahui. Ini penting untuk pengiraan jumlah kandungan elektron (*total electron content*, TEC) dalam ionosfera sepanjang isyarat GPS semasa ia merambat dari GPS satelit ke penerima di Bumi. Oleh itu, indeks biasan adalah kuantiti asas dalam penentuan TEC dari isyarat GPS yang akan diterangkan dalam Bahagian 2.6.1.

2.6.1 Jumlah Kandungan Elektron

Ionosfera dicirikan dengan ketumpatan elektron, N_e dalam unit elektron per meter padu. Parameter ionosfera yang menghasilkan kesan terhadap isyarat GPS adalah jumlah kandungan elektron di sepanjang laluan isyarat yang dipancarkan oleh GPS satelit kepada GPS penerima di Bumi dalam ruang yang mempunyai luas keratan rentas meter persegi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.6. Rajah tersebut menunjukkan TEC di sepanjang laluan isyarat daripada satelit GPS kepada penerima di bumi. TEC digambarkan sebagai keratan rentas jumlah elektron bebas dalam sebuah tiub seluas 1 m^2 memanjang bermula dari satelit hingga ke penerima dan menembusi lapisan ionosfera.

Jumlah kandungan elektron dikira dalam unit TEC (TECU), di mana 1 TECU bersamaan dengan 10^{16} elektron per meter persegi, ($1 \text{ TECU} = 1 \times 10^{16} \text{ el.m}^{-2}$). Kebiasaannya, julat nilai minimum (10^{16}) dan maksimum (10^{18}) TEC boleh diperolehi pada waktu tengah malam dan tengahari. Perbezaan ketara julat TEC ini adalah disebabkan ketumpatan elektron bebas dalam ionosfera yang disebabkan oleh waktu harian tempatan. Oleh kerana aktiviti Matahari tidak wujud pada waktu malam, ketumpatan elektron bebas akan berkurang secara perlahan-lahan apabila Matahari terbenam dan akan meningkat secara perlahan-lahan apabila Matahari mula terbit. TEC adalah salah satu kuantiti fizik yang boleh diperolehi dengan menggunakan data GPS. TEC juga merupakan parameter yang penting untuk mengesan gangguan dalam ionosfera. Kesan



Rajah 2.6 TEC di sepanjang laluan isyarat daripada GPS satelit kepada GPS penerima di Bumi

Sumber: Adaptasi dari Komjathy 1997.

ralat ionosfera terhadap penyebaran gelombang radio juga boleh diketahui melalui nilai TEC. Penerangan mengenai pengiraan untuk mendapatkan nilai TEC daripada isyarat GPS akan diterangkan dengan lebih lanjut dalam Lampiran A.2.

2.6.2 Model Peramalan TEC Yang Terdahulu

Sejak kehadiran komunikasi radio dan satelit, kesan ionosfera terhadap penyebaran gelombang radio dikaji. Oleh itu, ia banyak memberi minat dan peluang kepada para penyelidik untuk mengkaji kesannya terhadap pengguna GPS. Beberapa model ionosfera disediakan untuk pengguna GPS bagi pemodelan isyarat ionosfera. Pelbagai model peramalan TEC yang terdahulu dijelaskan di bawah.

Model Bent dibangunkan oleh Rodney Bent dan Sigrid Llewellyn pada tahun 1973 untuk mengesan satelit, bagi memastikan perhubungan antara satelit dan membebankan kelewatan ionosfera (Llewellyn & Bent 1973). Pembangunan model Bent melibatkan pemasangan profil ketumpatan elektron pada dasarnya kepada data ionosfera pangkalan data. Model ini menerangkan ketumpatan elektron ionosfera sebagai fungsi

fluks radio suria (*solar radio flux*), garisan bujur, latitud, musim dan masa. Model Bent digunakan untuk mengira ketumpatan elektron profil dari ketinggian 0 hingga 1000 km. Input untuk model ini adalah tarikh, masa, lokasi, fluks suria dan jumlah tompok matahari. Hasil profil ini diklasifikasikan kepada lima segmen iaitu bi-parabola untuk pemodelan ionosfera latitud rendah, parabola untuk menyertai ionosfera di sebelah atas dan bawah, dan tiga segmen profil eksponen, yang digabungkan untuk pemodelan ionosfera di latitud atas (Meza et al. 2002). Sementara itu, model Bent hanya merujuk kepada lapisan F2 dan tidak melibatkan lapisan bawah seperti Lapisan D, E dan F1.

Model Klobuchar telah dibangunkan oleh John Klobuchar di Makmal Geofizik Angkatan Udara, di Amerika Syarikat (Wang et al. 2016). Model ini dibangunkan pada tahun 1975. Klobuchar telah membina model dari model Bent. Model ini menggunakan bahagian positif gelombang radio kosinus dengan pemalar yang dipanggil DC untuk model kelewatan masa di lokasi pemerhati. Algoritma model digunakan untuk pembetulan kelewatan ionosfera dalam GPS bagi komunikasi frekuensi tunggal. Salah satu prosedur utama bagi reka bentuk algoritma adalah untuk mendapatkan capaian yang paling baik dalam tempoh harian dengan nilai TEC yang maksimum. Model ini menganggap kelakuan lancar yang ideal dari ionosfera dan perubahan besar terhadap kepelbagaian TEC setiap hari tidak boleh dimodelkan dengan betul. Oleh itu, model hanya boleh meramalkan sekitar 50% hingga 60% daripada ralat kelewatan ionosfera dan nilai ketepatannya jarang memuaskan terutamanya ketika berlakunya aktiviti solar yang tinggi (Böhm & Schuh 2013).

NeQuick adalah model separa eksperimen yang memberikan nilai anggaran kepada ketumpatan elektron. Model ini dibangunkan di Makmal Astronomi dan Perambatan Radio (ARPL), Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Itali dan Institut Geofizik, Astrofizik dan Meteorologi (IGAM), Universiti Graz, Austria. Model NeQuick mempunyai keupayaan untuk menyediakan pengagihan penumpuan elektron di kedua bahagian atas dan bawah ionosfera bagi meramalkan jangkaan tempat dan masa. Ia juga menyediakan model pembetulan ionosfera bagi masa nyata untuk menganggarkan kuantiti TEC menyendeng dari Bumi ke satelit atau satelit ke laluan satelit untuk pengguna European Space Agency's (ESA), Galileo (Radicella 2009). Model NeQuick memberikan profil ketumpatan elektron menegak dan condong.

Model ini telah diuji di sekitar kawasan pertengahan latitud dan kawasan kutub di Hemisfera Utara dari altitud 500 - 1000 km dan memberikan nilai TEC yang lebih tepat berbanding data eksperimen yang diperolehi melalui satelit Intercosmos-19 (Coisson et al. 2002).

Salah satu model yang biasa digunakan pada model global adalah model Rujukan Antarabangsa Ionosfera (*International Reference Ionosphere*, IRI) model. Model ini mula dibangunkan pada tahun 1978 oleh Rawer et al. (1978). IRI merupakan projek kerjasama antara *Committee on Space Research* (COSPAR) dan *International Union of Radio Science* (URSI) yang mempunyai objektif dalam menghasilkan satu model piawai untuk mengkaji lapisan ionosfera secara terperinci. Model ini memberikan nilai median dan purata ketumpatan dan kandungan elektron, komposisi ion dan suhu berdasarkan ketinggian, tempat, masa dan nombor tompok matahari di ionosfera dalam julat ketinggian 50 - 2000 km daripada maklumat lokasi geografi, waktu tempatan, tarikh (Bilitza 2001). Ramalan IRI TEC yang sepadan dikira dari model IRI-2007 (Bilitza & Reinisch 2008) menggunakan lokasi, tarikh, dan tempoh masa sebagai input kepada model. IRI-2007 merupakan piawaian model empirikal (*empirical*) baru ionosfera dengan beberapa pengubahsuaian (Bilitza et al. 2014; Bilitza 2015). Model ini diperbaiki daripada keterbatasan model IRI-2001 sebelumnya. Sebelum ini, beberapa penulis seperti Adewale et al. (2010); Akala et al. (2015) telah membandingkan pengukuran GPS-TEC ke atas rantau Khatulistiwa Afrika (EIA) dengan data TEC yang diperolehi daripada model IRI.

Prasad et al. (2012) membandingkan nilai TEC cerapan (GPS-TEC) dengan nilai TEC dari model IRI-2007 yang terdiri dari tiga pilihan iaitu (IRI-2001, IRI01-corr, dan NeQuick). Selain itu Adewale et al. (2012) telah menggelaskan nilai TEC kepada empat musim iaitu: Mac ekuinoks (Februari, Mac, dan April), Jun solstis (Mei, Jun, dan Julai), September ekuinoks (Ogos, September, dan Oktober) dan Disember solstis (November, Disember, dan Januari). Keputusan yang diperolehi daripada kedua-dua kajian ini menunjukkan nilai TEC yang diperolehi dari NeQuick dan IRI01-corr menghampiri data TEC dari GPS-TEC. Manakala, nilai TEC dari IRI-2001 menjauhi dari nilai TEC cerapan (GPS-TEC). Leong et al. (2015) membandingkan prestasi model NeQuick, IRI-2012 dan IRI-2007 terhadap nilai VTEC yang diceraip dari data GPS dual frekuensi pada

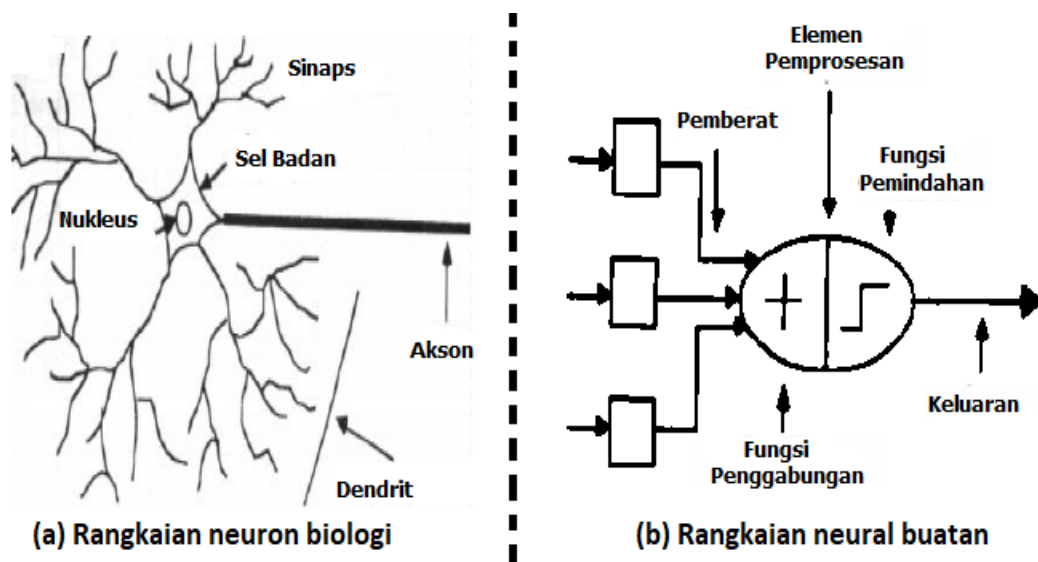
tahun 2011 di Banting, Malaysia. Didapati bahawa nilai TEC di kawasan Khatulistiwa memberikan nilai TEC minimum pada bulan solstis manakala nilai TEC maksimum pada bulan ekuinoks. Bagi perubahan harian, model NeQuick dan IRI-2007 memperlihatkan persetujuan yang baik pada waktu selepas tengah malam dan selepas tamat. Walau bagaimanapun, model IRI-2012 memberikan hasil yang lebih baik berbanding model NeQuick dan IRI-2007 pada perubahan bermusim.

Model IRI sentiasa dikemas kini dan diperbaiki semasa sesi bengkel COSPAR-IRI di mana teknik-teknik baru dan teknik pemodelan baru akan dibentangkan, dan hasil dari mesyuarat ini telah membawa beberapa pembaharuan bagi model IRI dari semasa ke semasa (Kenpankho et al. 2011; Bilitza & Reinisch 2008). Ringkasan sejarah mengenai projek model IRI dan perihalan model IRI-2012 dibentangkan dalam Bilitza et al. (2014). Model IRI-2012 mempunyai tiga pilihan untuk ketumpatan elektron atas iaitu; IRI-2001, IRI01-corr, dan NeQuick. Kebanyakan penyelidik di seluruh dunia telah membandingkan pilihan ketumpatan elektron di bahagian atas yang berbeza ini untuk mengenal pasti pilihan terbaik bagi latitud yang dikaji (Habarulema et al. 2009a; Panda et al. 2015; Akala et al. 2015; Elmunim et al. 2017)

2.7 RANGKAIAN NEURAL BUATAN

Pembangunan rangkaian neural buatan (*Neural Network*, NN) adalah didorong oleh keinginan untuk menghasilkan mekanisma digital yang berfungsi seperti otak manusia. Ini kerana otak manusia dapat menyesuaikan diri dengan keadaan baru melalui kaedah pembelajaran, begitu juga dengan rangkaian neural buatan dan berupaya memproses maklumat secara serentak. Rangkaian neural buatan adalah sistem pemprosesan maklumat yang terdiri daripada unsur-unsur pemprosesan yang mudah dan dikenali sebagai neurons (Haykin 1999). Secara konseptual, NN ialah pemprosesan maklumat yang mempunyai keupayaan untuk mempelajari maklumat yang diberikan kepadanya dengan mempelajari trend dan coraknya, kemudiannya menyimpan maklumat yang relevan dan kelakuan generalisasi seterusnya menggunakan struktur tersebut secara selari (Haykin 1999).

Secara praktikal, rangkaian neural buatan telah digunakan di dalam pelbagai aplikasi seperti sistem peramalan, pengecaman, pemprosesan data dan pengelasan corak. Melalui sistem pengecaman, NN dapat digunakan untuk mengenali pola (misal huruf, angka, suara ataupun tanda tangan) yang sudah sedikit berubah. Hal ini hampir sama dengan otak manusia yang masih mampu mengenali orang yang sudah lama tidak berjumpa (mungkin wajah / bentuk tubuh seseorang sedikit berubah). Manakala, rangkaian neural buatan dalam konsep peramalan juga dapat meramalkan apa yang akan terjadi di masa yang akan datang berdasarkan pola kejadian yang ada di masa yang lampau. Hal ini berlaku kerana kemampuan NN untuk mempelajari dan memahami carak yang berlaku pada masa lampau.



Rajah 2.7 Gambarajah (a) rangkaian neuron biologi, (b) rangkaian neural buatan

Rajah 2.7 menunjukkan gambarajah (a) rangkaian neuron biologi dan (b) rangkaian neural buatan. Berdasarkan rangkaian neuron biologi, rangkaian neural buatan merupakan satu sistem yang terdiri daripada nod-nod yang disambungkan di antara satu sama lain. Melalui sistem ini, beberapa nod akan bertindak sebagai input yang akan menerima maklumat atau lebih dikenali sebagai data masukan. Data masukan ini akan dihantar kepada nod-nod perantara untuk diproses. Nod-nod perantara ini akan menjadi perantaraan kepada data masukan dan keluaran. Setiap nod tersebut akan disambungkan di antara satu sama lain melalui satu sambungan pemberat yang diibaratkan sebagai sinaps yang membenar atau menghalang hubungan di antara dua neuron. Kemudian, data yang telah diproses akan dihantar kepada nod keluaran sebagai data keluaran kepada

RUJUKAN

- Abdullah, M., Mat, D.A.A., Zain, A.F.M., Abdullah, S., Asnawi & Zulkifli, S.S.N. 2010. Jumlah Kandungan Elektron Sewaktu Gangguan Ionosfera Bergerak di Parit Raja, Johor. *Jurnal Kejuruteraan* 22: 23–30.
- Abdullah, M., Zain, A.F.M., Ho, Y.H. & Abdullah, S. 2009. TEC and Scintillation Study of Equatorial Ionosphere: A Month Campaign over Sipitang and Parit Raja Stations, Malaysia. *American Journal of Engineering and Applied Sciences* 2(1): 44–49.
- Adewale, A.O., Oyeyemi, E.O. & Akala, A.O. 2010. Comparison of neural network technique with IRI 2001 model ionospheric predictions during great geomagnetic storms for a mid-latitude station. *Journal of Sci. Res. Dev* 12: 75–92.
- Adewale, A.O., Oyeyemi, E.O., Cilliers, P.J., McKinnell, L.A. & Adeloye, A.B. 2012. Low solar activity variability and IRI 2007 predictability of equatorial Africa GPS TEC. *Advances in Space Research* 49(2): 316–326.
- Akala, A.O., Somoye, E.O., Adewale, A.O., Ojutalayo, E.W., Karia, S.P., Idolor, R.O., Okoh, D. & Doherty, P.H. 2015. Comparison of GPS-TEC observations over Addis Ababa with IRI-2012 model predictions during 2010-2013. *Advances in Space Research* 56(8): 1686–1698.
- Bagiya, M.S., Joshi, H.P., Iyer, K. N. and Aggarwal, M., Ravindran, S. & Pathan, B.M. 2009. TEC variations during low solar activity period (2005-2007) near the Equatorial Ionospheric Anomaly Crest region in India. *Annales Geophysicae* 27: 1047–1057.
- Bahari, S., Abdullah, M. & Yatim, B. 2017. Variasi Jumlah Kandungan Elektron Ionosfera di Malaysia ketika Solar Minimum. *Sains Malaysiana* 46(10): 1987–1995.
- Bahari, S.A. 2010. *Pemetaan jumlah kandungan elektron dan perubahannya di Malaysia menggunakan teknik penentuan kedudukan tepat ketika suria minimum*. Tesis sarjana, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Bahari, S.A., Abdullah, M. & Hasbi, A. 2015. A review of ionospheric studies in Malaysia using GPS. *Proceeding of the 2015. International Conference on Space Science and Communication (IconSpace)*, hlm. 95–100.
- Böhm, J. & Schuh, H. 2013. *Atmospheric effects in space geodesy*. New York: Springer.
- Bilitza, D. 2001. International Reference Ionosphere 2000. *Radio Science* 36(2): 261–275.
- Bilitza, D. 2015. The international reference ionosphere - Status 2013. *Advances in*

Space Research 55(8): 1914–1927.

- Bilitza, D., Altadill, D., Zhang, Y., Mertens, C., Truhlik, V., Richards, P., McKinnell, L.A. & Reinisch, B. 2014. The International Reference Ionosphere 2012 – a model of international collaboration. *Journal of Space Weather and Space Climate* 4: A07.
- Bilitza, D. & Reinisch, B.W. 2008. International reference ionosphere 2007: improvements and new parameters. *Advances in Space Research* 42(4): 599–609.
- Buhari, S. 2016. *Kajian gelembung plasma ionosfera menggunakan rangkaian penerima GPS di Malaysia*. Tesis doktor falsafah, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Buhari, S.M., Abdullah, M., Otsuka, Y., Yokohama, T., Nishioka, M., Hasbi, A.M. & Tsugawa, T. 2017. Pengesanan Gelembung Plasma di dalam Lapisan Ionosfera menggunakan Penerima GPS di Asia Tenggara. *Sains Malaysiana* 46(6): 879–885.
- Cander, L., Milosavljevic, M., Stankovic, S., Tomasevic, S., Engineering, C. & Engineering, E. 1998. Ionospheric forecasting technique by artificial neural network. *Electronics Letters*, jil. 34, hlm. 1573.
- Cander, L.R. 1998. Artificial neural network applications in ionospheric studies. *Annali di Geofisica* 41(5-6): 757–766.
- Chauhan, V., Singh, O.P. & Singh, B. 2011. Diurnal and seasonal variation of GPS-TEC during a low solar activity period as observed at a low latitude station Agra. *Indian Journal of Radio and Space Physics* 40(1): 26–36.
- Chen, C., Sun, S. & Ban, P. 2010. Forecasting the ionospheric foF2 in Chinese region by neural network technique. *2010 9th International Symposium on Antennas Propagation and EM Theory, ISAPE 2010*, jil. 2, hlm. 399–402.
- Cleveland, O.H. 2017. The seasons, the equinox, and the solstices. URL www.weather.gov/cle/seasons. 26 Januari 2017.
- Coisson, P., Radicella, S.M. & Nava, B. 2002. Comparisons of experimental topside electron concentration profiles with IRI2001 and NeQuick models. *Annals of Geophysics* 45(1): 111–116.
- Davis, C.J., Wild, M.N., Lockwood, M. & Tulunay, Y.K. 1997. Ionospheric and geomagnetic responses to changes in IMF B z : A superposed epoch study. *Annales Geophysicae* 15(2): 217–230.
- El-Rabbany, A. 2002. *Introduction to GPS: the global positioning system*. Boston-London: Artech House.
- Elizei, M.M.A. 2013. *Multi-Dimensional modeling of the ionospheric parameters* ,

using space geodetic techniques. Tesis doktor falsafah, Veinna University of Technology.

Elmunim, N., Abdullah, M., Hasbi, A. & Bahari, S. 2017. Comparison of GPS TEC variations with Holt-Winter method and IRI-2012 over Langkawi, Malaysia. *Advances in Space Research* 60: 276–285.

Elmunim, N.A., Abdullah, M., Hasbi, A.M. & Bahari, S.A. 2015. Comparison of statistical Holt-Winter models for forecasting the ionospheric delay using GPS observations. *Indian Journal of Radio and Space Physics* 44(1): 28–34.

Fausett, L. 1994. *Fundamentals of Neural Networks; Architectures, Algorithms and Applications*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Forbes, J., Scott, E. & Xiaoli, Z. 2002. Variability of the ionosphere. *Journal Atmospheric and Solar – Terrestrial Physics* 62: 685–693.

Forster, M. & Jakowski, N. 2000. Geomagnetic Storm Effects on the Topside Ionosphere and Plasmasphere: A Compact Tutorial and New Results. *Survey in Geophysics* 21(1): 47–87.

Gao, Y. & Liu, Z.Z. 2004. Precise Ionospheric Modeling Using Regional GPS Network Data. *Journal of Global Positioning Systems* 1(1): 18–24.

Guanqun, D., Fataliyev, K. & Wang, L. 2013. One-step and multi-step ahead stock prediction using backpropagation neural networks. *ICICS 2013 - Conference Guide of the 9th International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, hlm. 2–6.

Habarulema, J.B. 2007. *A feasibility study into Total Electron Content prediction using Neural Networks*. Tesis sarjana, Rhodes University.

Habarulema, J.B., McKinnell, L.A. & Cilliers, P.J. 2007. Prediction of global positioning system total electron content using Neural Networks over South Africa. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 69: 1842–1850.

Habarulema, J.B., McKinnell, L.A., Cilliers, P.J. & Opperman, B.D.L. 2009a. Application of neural networks to South African GPS TEC modelling. *Advances in Space Research* 43(11): 1711–1720.

Habarulema, J.B., McKinnell, L.A. & Opperman, B.D.L. 2009b. Towards a GPS-based TEC prediction model for Southern Africa with feed forward networks. *Advances in Space Research* 44(1): 82–92.

Habarulema, J.B., McKinnell, L.A. & Opperman, B.D.L. 2010. TEC measurements and modelling over Southern Africa during magnetic storms; a comparative analysis. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 72(5-6): 509–520.

- Habarulema, J.B., McKinnell, L.A. & Opperman, B.D.L. 2011. Regional GPS TEC modeling; Attempted spatial and temporal extrapolation of TEC using neural networks. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 116(4).
- Hasbi, A.M. 2011. *Analysis of Ionospheric Disturbances Before and During Earthquakes over Sumatra*. Tesis doktor falsafah, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Hasbi, A.M., Ali, M.A.M. & Misran, N. 2007. Ionospheric TEC and scintillation during the 15-16 May 2005 major storm over equatorial anomaly region at ARAU. *2007 Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics Proceedings, APACE2007*, May 2005, hlm. 2–6.
- Hathaway, D.H. 2017. Solar cycle prediction. URL http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_predict_1.gif. 23 - April -2017.
- Haykin, S. 1999. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Indian: Pearson Education, 2 edisi.
- Hernández-Pajares, M., Juan, J.M. & Sanz, J. 1997. Neural network modeling of the ionospheric electron content at global scale using GPS data. *Radio Science* 32(3): 1081–1089.
- Homam, M.J. 2014. Initial Prediction of Total Electron Content (TEC) at a Low Latitude Station Using Neural Network. *2014 IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE)*, 2, hlm. 111–114. Johor Bahru, Johor, Malaysia.
- Homam, M.J. 2016. Prediction of Total Electron Content of the Ionosphere using Neural Network. *Journal Teknologi* 78(5-8): 53–57.
- Huang, Z., Li, Q.B. & Yuan, H. 2015. Forecasting of ionospheric vertical TEC 1-h ahead using a genetic algorithm and neural network. *Advances in Space Research* 55: 1775–1783.
- Huang, Z. & Yuan, H. 2014a. Ionospheric single-station TEC short-term forecast using RBF neural network. *Radio Science* 49(4): 283–292.
- Huang, Z. & Yuan, H. 2014b. Research on regional ionospheric TEC modeling using RBF neural network. *Science China Technological Sciences* 57(6): 1198–1205.
- Jain, A.K. & Mao, J. 1996. Artificial Neural Network: A Tutorial. *Communications*, jil. 29, hlm. 31–44. doi:10.1109/2.485891.
- Kamaruddin, M.N. & Akib, W.A.A.W. 1998. Pengesanan TEC Ionosfera dengan Teknologi GPS. *Journal Teknologi* 28: 57–65.
- Karia, S.P., Pateel, N.C. & Pathak, K.N. 2015. Comparison of GPS based TEC measurements with the IRI-2012 model for the period of low to moderate solar activity

(2009-2012) at the crest of equatorial anomaly in Indian region. *Advances in Space Research* 55(8): 1965–1975.

Kenpankho, P., Watthanasangmechai, K., Supnithi, P., Tsugawa, T. & Maruyama, T. 2011. Comparison of GPS TEC measurements with IRI TEC prediction at the equatorial latitude station, Chumphon, Thailand. *Earth, Planets and Space* 63: 365–370.

Klobuchar, J.A. 1975. Polarization of VHF Waves Emitted From Geostationary Satellites. *Journal of Geophysical Research* 80(31): 4387 – 4389.

Komjathy, A. 1997. *Global ionospheric total electron content mapping using the Global Positioning System*. Tesis doktor falsafah, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.

Kouris, S., Fotiadis, D. & Zolesi, B. 1999. Specifications of the F-region variations for quiet and disturbed conditions. *Physics and Chemistry of the Earth*, 24(4): 321–327.

Leandro, R. & Santos, M. 2007. A neural network approach for regional vertical total electron content modelling. *Stud. Geophys. Geod* 51: 279–292.

Leong, S.K., Musa, T.A., Omar, K., Subari, M.D., Pathy, N.B. & Asillam, M.F. 2015. Assessment of ionosphere models at Banting: Performance of IRI-2007, IRI-2012 and NeQuick 2 models during the ascending phase of Solar Cycle 24. *Advances in Space Research* 55(8): 1928–1940.

Liao, X. 2000. *Carrier phase based ionosphere recovery over a regional area GPS network*. Tesis sarjana, University of Calgary, Canada.

Liu, L. & Chen, Y. 2009. Statistical analysis of solar activity variations of total electron content derived at Jet Propulsion Laboratory from GPS observations. *Journal of Geophysical Research* 114(A10): A10311.

Llewellyn, S. & Bent, R. 1973. Documentation and description of the Bent ionospheric model. Laporan teknikal, Massachusetts.

Major, F.G. 2007. *The Quantum Beat: Principles and Applications of Atomic Clocks*. United States of America: Springer.

Maruyama, T. 2007. Regional reference total electron content model over Japan based on neural network mapping techniques. *Annales Geophysicae* 25(12): 2609–2614.

Maruyama, T. 2010. Solar proxies pertaining to empirical ionospheric total electron content models. *Journal of Geophysical Research A: Space Physics* 115(A4): 1–12.

- McKinnell, L.A. & Poole, A.W.V. 2000. The development of a neural network based short term foF2 forecast program. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial and Planetary Science* 25(4): 287–290.
- McKinnell, L.A. & Poole, A.W.V. 2004a. Neural network-based ionospheric modelling over the South African region. *South African Journal of Science* 100(11-12): 519–523.
- McKinnell, L.A. & Poole, A.W.V. 2004b. Predicting the ionospheric F layer using neural networks. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 109(A8).
- Meza, A.M., Brunini, C.A., Bosch, W. & VanZele, M.A. 2002. Comparing vertical total electron content from GPS, Bent and IRI models with TOPEX-Poseidon. *Advances in Space Research* 30(2): 401–406.
- Mishra, S.K. & Tiwari, D.P. 2011. Identification of solar features causing geomagnetic storm during the period of 1996-2003. *Proceedings of the 32nd International Cosmic Ray Conference*, hlm. 135–138.
- Misra, P. & Enge, P. 2006. *Global Positioning System; Signals, Measurements and Performance*. Ganga-Jumuna Press,.
- Nakamura, M., Maruyama, T. & Shidama, Y. 2007. Using a neural network to make operational forecasts of ionospheric variations and storms at Kokubunji, Japan. *Earth, Planets and Space* 59: 1231–1239.
- NASA. 2009. Earth's atmosphere, schumann resonance and the ionosphere - heartmath institute. URL <https://www.heartmath.org/gci-commentaries/earths-atmosphere-schumann-resonance-and-the-ionosphere/>. 28 Desember 2016.
- Okoh, D. & Oliha, S. 2015. A Study of Total Electron Content Variations Over Abuja (Nigeria) using the GNSS. *Research & Reviews: Journal of Space Science & Technology* 4(3): 1–6.
- Okoh, D., Owolabi, O., Ekechukwu, C., Folarin, O., Arhiwo, G., Agbo, J., Bolaji, S. & Rabi, B. 2016. A regional GNSS-VTEC model over Nigeria using neural networks: A novel approach. *Geodesy and Geodynamics* 7(1): 19–31.
- Ondoh, T. & Marubashi, K. 2001. Science of space environment. Laporan teknikal.
- Oyeyemi, E.O., McKinnell, L.A. & Poole, A.W.V. 2006. Near-real time foF2 predictions using neural networks. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 68(16): 1807–1818.
- Panda, S.K., Gedam, S.S. & Rajaram, G. 2015. Study of Ionospheric TEC from GPS observations and comparisons with IRI and SPIM model predictions in the low latitude anomaly Indian subcontinental region. *Advances in Space Research*

55(8): 1948–1964.

Parkinson, B.W. & Spilker, J.J. (pnyt.) . 1996. *Global Positioning System: Theory and Applications, Volume 1*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Poole, A.W.V. & Mckinnell, L.a. 2000. On the predictability of foF2 using neural networks. *Radio Science* 35(1): 225–234.

Prasad, S.N.V.S., Rama Rao, P.V.S., Prasad, D.S.V.V.D., Venkatesh, K. & Niranjana, K. 2012. On the variabilities of the Total Electron Content (TEC) over the Indian low latitude sector. *Advances in Space Research* 49(5): 898–913.

Radicella, S. 2009. The Nequick model genesis, uses and evolution. *Annals of Geophysics* 52(3): 417–422.

Radzi, Z.M., Abdullah, M., Hasbi, A.M., Mandeep, J.S. & Bahari, S.A. 2013. Seasonal variation of total electron content at equatorial station, Langkawi, Malaysia. *International Conference on Space Science and Communication, IconSpace*, July, hlm. 186–189.

Rawer, K., Ramakrishnan, S. & Bilitza, D. 1978. International Reference Ionosphere 1978. International union of radio science, ursi special report, Brussels, Belgium.

Ray, S., Roy, B., Paul, K.S., Goswami, S., Oikonomou, C., Haralambous, H., Chandel, B. & Paul, A. 2016. Study of the effect of March 17-18, 2015 geomagnetic storm on the Indian longitudes using GPS and C/NOFS. *American Geophysical Union*.

Reddy, C. 2002. Study of space weather effects using GPS. *Proceedings 2002, GPS in Atmospheric Sciences*.

Sarma, A.D. & Madhu, T. 2005. Modelling of foF2 using neural networks at an equatorial anomaly station. *Current Science* 89(7): 1245–1247.

Schaer, S. 1999. *Mapping and predicting the earth's ionosphere using the Global Positioning System*. Tesis doktor falsafah, University of Berne, Switzerland.

Sickle, J.V. 2015. *GPS for Land Surveyors*,. Boca Raton, Florida: CRC Press., fourth edisi.

Sivavaraprasad, G. & Venkata Ratnam, D. 2017. Performance evaluation of ionospheric time delay forecasting models using GPS observations at a low-latitude station. *Advances in Space Research* 60(2): 475–490.

Stamper, R., Lilensten, J. & Jakowski, N. 2004. Nowcasting, forecasting and warning for ionospheric propagation: Supporting databases. *Annals of Geophysics* 47(2-3 SUPPL.): 945–955.

- Tsugawa, T. 2004. *Observational Studies on Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances Using GPS Receiver Networks*. Tesis doktor falsafah, Kyoto University, Kyoto, Japan.
- Tulunay, E., Senalp, E.T., Radicella, S.M. & Tulanay, Y. 2006. Forecasting total electron content maps by neural network technique. *Radio Science* 41: 1–12.
- Uwamahoro, J. & Habarulema, J. 2014. Empirical modeling of the storm time geomagnetic indices: a comparison between the local K and global Kp indices. *Earth, Planets and Space* 66(1): 95.
- Uwamahoro, J.C. & Habarulema, J.B. 2015. Modelling total electron content during geomagnetic storm conditions using empirical orthogonal functions and neural networks. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 120: 11000–11012.
- Van Dierendonck, A.J. 2007. *GSV GPS Silicon Valley. GSV4004B GPS Ionospheric Scintillation & TEC Monitor (GISTM) User's Manual*.
- Wang, N., Yuan, Y., Li, Z. & Huo, X. 2016. Improvement of Klobuchar model for GNSS single-frequency ionospheric delay corrections. *Advances Space Research* 57.
- Warnant, R. & Pottiaux, E. 2000. The increase of the ionospheric activity as measured by GPS. *Earth, Planets and Space* 52(11): 1055–1060. doi:10.1186/BF03352330.
- Watthanasangmechai, K., Supnithi, P., Lerkvaranyu, S., Tsugawa, T., Nagatsuma, T. & Maruyama, T. 2012. TEC prediction with neural network for equatorial latitude station in Thailand. *Earth, Planets and Space* 64: 473–483.
- Wichaipanich, N. & Supnithi, P. 2014. Prediction of foF2 using Neural Network at Thailand equatorial latitude station, Chumphon. *2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2014*, hlm. 0–3.
- Williscroft, A. & Poole, A.W.V. 1996. Neural networks, foF2, sunspot number and magnetic activity. *Geophysical Research Letters* 23(24): 3659–3662.
- Xu, G. 2007. *GPS - Theory, Algorithms and Applications*. Heidelberg: Springer.
- Yaacob, N., Abdullah, M. & Ismail, M. 2010. GPS Total Electron Content (TEC) Prediction at Ionosphere Layer over the Equatorial Region. *Trends in Telecommunications Technologies*, hlm. 485–508.
- Yizengaw, E., Essex, E.A. & Birsa, R. 2004. The Southern Hemisphere and equatorial region ionization response for a 22 September 1999 severe magnetic storm. *Annalae Geophysica*.
- Zain, A., Ho, Y., Abdullah, M., Rhazali, Z., Abdullah, S. & Marsimin, M. 2005. First

Ionospheric Experimental Campaign and Observation at Fraser's Hill, Malaysia
: Total Electron Content (TEC) and scintillation measurements. *2005 Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics*, hlm. 1–5.



PTTA UTHM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH